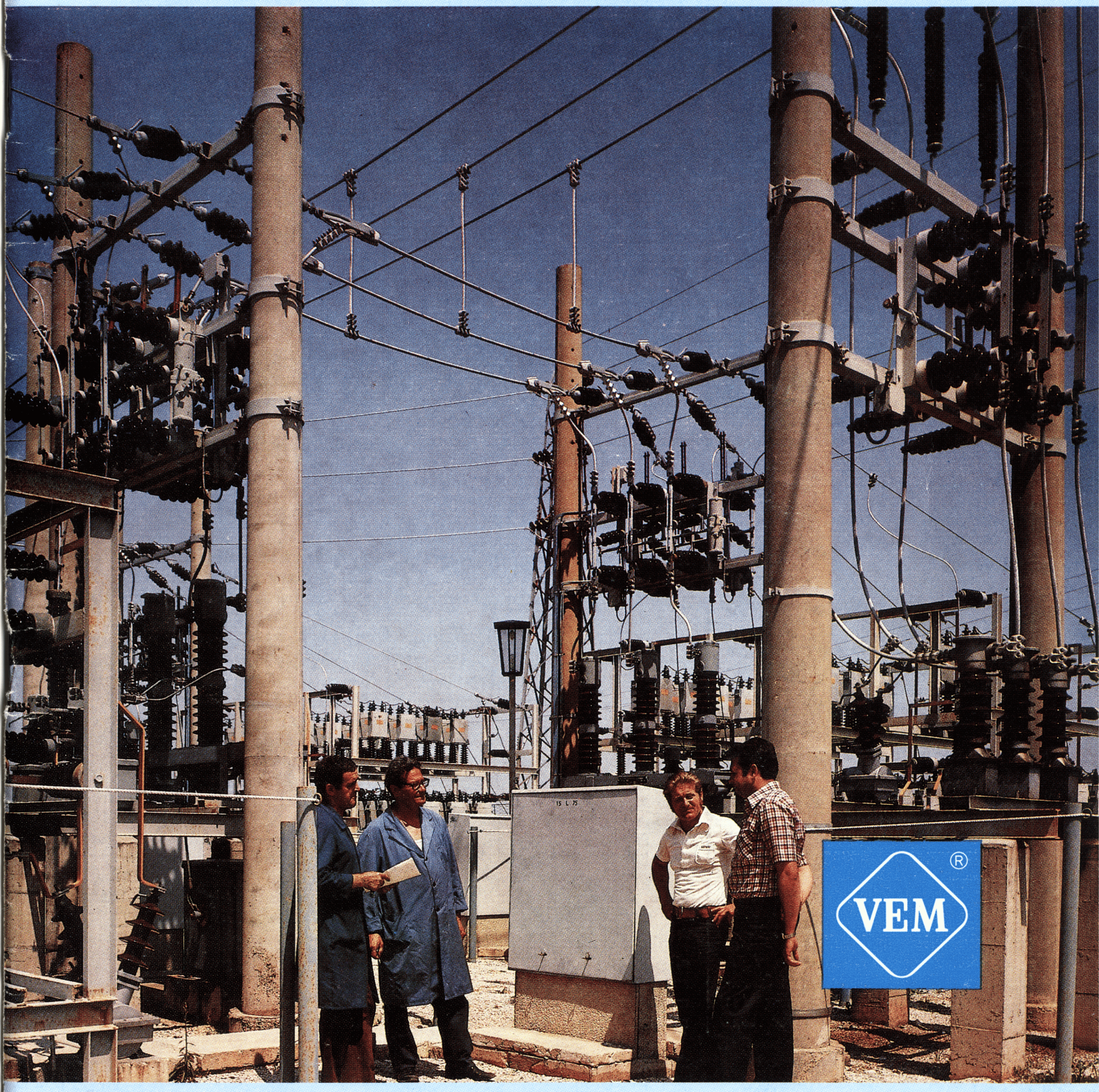
ELEKTRIE 10|89

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



0120229

Elektroenergieanlagen

Von Dr.-Ing. Heinz Bätz u. a.

Dritte, durchgesehene Auflage

348 Seiten, 255 Bilder, 92 Tafeln, Leinen, DDR 26,— M, Ausland 36,— DM.

Bestellangaben: 554149 2/Bätz, Elektroenergie

Fachschullehrbuch. Auch sehr gut als Nachschlagewerk und für die Weiterbildung geeignet.

Aus dem Inhalt:

Einleitung Grundsätzliches zum Aufbau und zur Gestaltung von Elektroenergieanlagen. Standards und Vorschriften für Projektierung, Fertigung, Errichtung und Betreiben von EEA

Bauteile und Betriebsmittel für den Starkstromanlagenbau Grundsätzliche Ausführungen · Stromschienen · Transformatoren · Wandler für Messung und Schutz · Drosseln · Auswahlkriterien für Schaltgeräte · Schutztechnik · Fabrikfertige Verteilungs- und Schaltanlagen · Stromversorgungsanlagen · Stromrichter

Planung und Berechnung von Beleuchtungsanlagen Einführung · Lampen · Leuchten · Anforderungen an die Beleuchtungsgüte für Innenraumbeleuchtungen · Berechnung von Beleuchtungsanlagen

Ermittlung des Leistungs- und Energiebedarfs in Elektroenergieanlagen Grundsätzliche Möglichkeiten der Leistungs- und Energiebedarfsermittlung · Begriffe zur Ermittlung des Leistungs- und Energiebedarfs · Berechnungsverfahren für industrielle Energienetze

Kompensierung der Blindleistung Blindleistungsverbraucher · Auswirkung der Blindleistung in Starkstromanlagen · Verbesserung des Leistungsfaktors · Einsatz der Kondensatoren in Industrieanlagen · Technische Besonderheiten beim Einsatz der Kondensatoren

Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen bis 1000 V · Erdung in elektrotechnischen Anlagen

Kurzschlußstromberechnung in Starkstromanlagen ohne Kenntnis der Kurzschlußleistung in den einzelnen Kraftwerken Berechnung der charakteristischen Kurzschlußstromgrößen · Kurzschlüsse in Mittel- und Hochspannungsanlagen · Kurzschlüsse in Niederspannungsanlagen · Berechnung der Kurzschlußströme unter Berücksichtigung von Abnehmern · Begrenzung hoher Kurzschlußströme

Berechnung der mechanischen und thermischen Kurzschlußstromfestigkeit von Betriebsmitteln Berechnung der mechanischen Kurzschlußstromfestigkeit der Stromschienen und Stützer · Berechnung der thermischen Kurzschlußstromfestigkeit der Stromschienen · Mechanische und thermische Kurzschlußstromfestigkeit von fabrikgefertigten Baueinheiten und Betriebsmitteln · Thermische Kurzschlußstromfestigkeit von Kabeln

Projektierung von Elektroenergieanlagen Der Elektroprojektierungsprozeß · Gestaltung von Elektroenergieanlagen · Technisch-ökonomische Berechnungen · Stationen.

Elektroenergienetze

Von Doz. Dipl.-Ing. Winfried Benser u. a.

Zweite, durchgesehene Auflage

352 Seiten, 294 Bilder, 49 Tafeln, Kunstleder, DDR 26,— M, Ausland 36,— DM.

Bestellangaben: 5533230/Benser, Elektro

Fachschullehrbuch und Nachschlagewerk.

Ausgehend von den Aufgaben der Elektroenergienetze, den an sie gestellten Forderungen, werden behandelt:

Elemente und Baugruppen zur Übertragung und Verteilung der Elektroenergie · Strombelastbarkeit und Schutz der Starkstromkabel und -leitungen gegen zu hohe Erwärmung · Spannungsbeanspruchung und Isolationsbemessung · Arten der Elektroenergienetze · Grundlagen zur Berechnung der Elektroenergienetze · Berechnung der Elektroenergienetze für den Normalbetrieb · Fehler und Störungen in Elektroenergienetzen · Grundlagen zur Gestaltung und Bemessung von Freileitungen.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

10|89 ELEKTRIE

43. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G.Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Der VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig-Halle, zuständig für Projektierung und Errichtung von Elektroenergieanlagen im In- und Ausland, stützt sich seit vielen Jahren auf eine enge Zusammenarbeit mit Fachgremien der KDT, zum Beispiel mit dem Fachausschuß 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen".
Unser Bild zeigt eine Industrieeinspeisung im Aluminiumwerk Lozovac, Sozialistische Föderative Republik Jugoslawien, des VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig-Halle.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 362

Pfeiler, V.

25 Jahre KDT-Arbeit im FUA 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen" 363

Fachaufsätze

Oswald, B.

Zur Berechnung der charakteristischen Kurzschlußstromgrößen aus dem Anfangskurzschlußstrom 365

Winkler, G.; Klose, D.

Berechnung der Impedanzen von Starkstromkabeln mit Personalcomputern 368

Golletz, F.; Böhme, H.

Zuverlässigkeit und Fehlerwahrscheinlichkeit von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung 370

Bauer, H.; Obenaus, D.

Erweiterung des Funktionsinhaltes der Verarbeitungsebene für Schaltanlagenleittechnik auf Mikrorechnerbasis 375

Boytschev, B.

Abschätzung der wirksamen Sternpunkterdung im teilstarr geerdeten Hochspannungsnetz bei der Sternpunktumstellung 377

Weßnigk, K.-D.; Grießbach, A.

Programm zur digitalen Berechnung des zeitlichen Kurzschlußstromverlaufs in batteriegespeisten Gleichstromnetzen 379

Beckert, U,; Neuber, W.

Neues Verfahren zur digitalen Drehzahlmessung 381

Umschau

Fachtagungen 385

Patente 390

Aus anderen Zeitschriften 391

Bücher 395

AKTUELLE INFORMATION

17. Weiterbildungsveranstaltung der WS Nachrichtentechnik

Zeit: 30. Oktober bis 3. November 1989
Ort: Grünheide bei Berlin
Veranstalter: WS Nachrichtentechnik im Fachverband der Elektrotechnik der Kammer der Technik

Inhaltliche Schwerpunkte

— Hochschulforschung
  • ISDN
  • Lichtwellenleiter
— Funktechnik
  • UKW-Funknetze
  • digitale Mobilfunksysteme
  • Mikrowellenschaltungen
— Elektronik-Technologie
— Endgerätetechnik

Anfragen

WS Nachrichtentechnik im Zentrum für Forschung und Technologie Nachrichtenelektronik, Koll. *Stoll*
Edisonstraße 63, Berlin, 1160
Die Redaktion EK 4037

Aufsetzmethode in der Leiterplattentechnik unter Berücksichtigung der Nacktchipverarbeitung

Fachtagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern

Zeit: 21. und 22. Dezember 1989
Ort: Berlin
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik; Wissenschaftliche Sektion Technologie des elektronischen Gerätebaus

Inhaltliche Schwerpunkte

Möglichkeiten und Grenzen der Baugruppenrealisierung
— Monolithische Integration
— Hybride Integration
— SMD-Technologie
— Nacktchipverarbeitung

Voraussetzung zur Einführung der Aufsetzmontage für SMD und Nacktchip
— Bauelementesortiment, Bauelementeverpackung
— Trägersysteme
— Hilfsmaterialien, (Kleber, Lötpasten, Lote, Mikrodrähte, Verkappung)
— Bestückungstechnik
— Meß- und Prüftechnik

Verfahren und Ausrüstungen
— CAD von Leiterplatten, u.a. von Trägersystemen
— Fixierung und Kontaktierung der Bauelemente
— CAQ
— Reparaturmöglichkeiten der Baugruppen
— Spezialausrüstungen

Anwenderbeispiel
— SMD-Technik
— Nacktchipverarbeitung (einschließlich Kundenwunschschaltkreise)

Fachspezifische Ausstellung
— Baugruppenmuster
— Sondergeräte
— Software für CAD, CAM, CAQ und weitere nachnutzbare Unterlagen

Anfragen

und Vortragsvorschläge (Termin 31. 05. 1989) sowie Ausstellungsangebote (Termin: 31. 05. 1989) sind schriftlich zu richten an Kammer der Technik
Präsidium, Fachverband Elektrotechnik
Clara-Zetkin-Str. 115/117
Berlin, 1086
H. Hoppe, Berlin EK 3017

Anwendung von 32-bit-Rechenanlagen des SKR

2. Fachtagung

Zeit: 17. und 18. Januar 1990
Ort: Gera
Veranstalter: Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik, FA Minicomputersysteme

Inhaltliche Schwerpunkte
— Systemsoftware
— Anwendungs-Softwaresysteme
— Anwendungsstörungen

Anfragen

Kammer der Technik, Bezirksvorstand Gera
Bereich Wissenschaft und Technik
Humboldtstr. 13, Gera, 6500
Tel.: 2 33 38 und 2 33 39
Die Redaktion EK 4066

Betrieb, Wartung und Weiterentwicklung von Rechenanlagen des SKR

Fachtagung

Zeit: 31. Januar bis 1. Februar 1990
Ort: Gera
Veranstalter: Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik, FA Minicomputersysteme

Inhaltliche Schwerpunkte
— Neue Gerätesysteme des SKR
— Entwicklungstendenzen bei der 16-32-bit-Technik
— Service und Wartungsstrategie
— Erfahrungsaustausch zur Wartung

Anfragen

Kammer der Technik, Bezirksvorstand Gera
Bereich Wissenschaft und Technik
Humboldtstr. 13, Gera, 6500
Tel.: 2 33 38 und 2 33 39
Die Redaktion EK 4065

Angewandte numerische Magnetfeldberechnung

7. Internationale Wintertagung

Zeit: 7. bis 9. Februar 1990
Ort: Technische Universität Karl-Marx-Stadt
Veranstalter: Technische Universität Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik

Inhaltliche Schwerpunkte
— 2-D- und 3-D-Berechnung magnetischer Felder, zeitabhängige Magnetfeldprobleme
— Leistungsfähigkeiten neuer Programmsysteme, deren Entwicklungsstand und Möglichkeiten
— Praktische Anwendungen der Magnetfeldberechnung bei der Entwicklung elektrotechnischer Erzeugnisse und der Simulation elektrischer Antriebe
— Numerische Techniken, Netzgenerierung, Fehlerabschätzung

Anfragen

richten Sie bitte an:
Technische Universität Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik
WB 14240, Dr.-Ing. *E. Thiem*
PSF 964, Karl-Marx-Stadt, 9010
Tel.: 561 33 77
P.-K. Budig, Karl-Marx-Stadt EK 4058

Galvanotechnik 1990

10. Internationale Fachtagung

Zeit: 9. bis 11. Mai 1990
Ort: Karl-Marx-Stadt (Stadthalle)
Veranstalter: Fachausschuß Galvanotechnik mit dem für das Prozeßgebiet Oberflächenbehandlung verantwortliche Kombinat VEB Lokomotivbau Elektrotechnische Werke „Hans-Beimler" Henningsdorf gemeinsam mit dem Bezirksverband der Kammer der Technik Karl-Marx-Stadt

Die Fachtagung orientiert auf Verbreitung neuer Erkenntnisse entsprechend fortschreitenden wissenschaftlich-technischen Standes der Galvanotechnik im internationalen Maßstab. Unter Beachtung der ökonomischen Strategie zur Rationalisierung der Produktionsindustrie, Energie- und Werkstoffrecycling werden die progressiven Entwicklungsrichtungen zur Nutzung sichtbar gemacht.

Inhaltliche Schwerpunkte
— Komplexe Prozesse in der Galvanotechnik
  • Beschichtungsverfahren
  • Stoffkreisläufe, Wertstoffrecycling
  • Rechnergestützte Prozeßplanung und -realisierung
— Galvanische Verfahren für die Mikroelektronik

Eine umfassende Posterreihe untersetzt die Fachtagung zu speziellen neuen galvanischen Prozessen.

Anfragen

Kammer der Technik
Bezirksvorstand Karl-Marx-Stadt
— Tagungsorganisation —
Annaberger Straße 24
Karl-Marx-Stadt, 9001
Tel.: 62141
Buschbeck, Karl-Marx-Stadt EK 4059

25 Jahre KDT-Arbeit im FUA 1.19 »Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen«

Von

Prof. Dr. sc. techn. Volkmar Pfeiler

Vorsitzender des
Fachunterausschusses 1.19
der Kammer der Technik

Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen sind stets mit dem Fortschritt dieser Anlagen selbst sowie der Weiterentwicklung der Elektroenergieversorgung verbunden, wobei die Berechnung der Kurzschlußströme und ihrer Wirkungen in zunehmendem Maße an Bedeutung gewonnen hat.

Am 4. April 1962 wurde eine erste Beratung einer Arbeitsgruppe „Berechnung von Kurzschlußströmen" im FA 1 „Errichtung und Betrieb elektrotechnischer Anlagen" durchgeführt. Das Ziel war die Erarbeitung des Standards TGL 200-0604 „Berechnung von Kurzschlußströmen". Nach Fertigstellung dieses Standards im Jahre 1965 ging aus dieser Arbeitsgruppe der FUA 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen" als KDT-Fachunterausschuß hervor. Die zur Erarbeitung des Standards TGL 200-0606 „Bemessung von Elektroenergieanlagen auf Kurzschlußstromfestigkeit" gebildete Arbeitsgruppe wurde kurze Zeit später ebenfalls dem FUA 1.19 zugeordnet. Diese Gliederung in zwei Arbeitsgruppen wirkte sich positiv auf die Arbeit im FUA 1.19 und die erzielten Ergebnisse aus. Die 25jährige Tätigkeit, insbesondere in den beiden Fachgebieten der Berechnung von Kurzschlußströmen und der Bemessung von Elektroenergieanlagen auf Kurzschlußstromfestigkeit hat maßgeblich zum heute erreichten Niveau der obengenannten Standards beigetragen.

Hierbei ist besonders hervorzuheben, daß die beiden Standardkomplexe einerseits eindeutige Festlegungen hinsichtlich der anzuwendenden Berechnungsverfahren enthalten, andererseits jedoch die erforderlichen Freiheiten lassen, um die durch die schnelle Entwicklung von Wissenschaft und Technik bedingten, ständig neuen Erkenntnisse kurzfristig in die Berechnungspraxis überleiten zu können. Eine derartige Standardisierungspraxis erfordert ein die betreffenden Standards betreuendes Fachgremium, das sich mit wissenschaftlicher Aktivität, Praxisbezogenheit und Verantwortungsbewußtsein die Aufgabe stellt, die erzielten Forschungsergebnisse in praktische Berechnungsverfahren zu überführen und auf geeignete Weise den Anwendern zur Verfügung zu stellen. Dieser Aufgabe hat sich der Fachunterausschuß 1.19 in den 25 Jahren seines Bestehens stets von neuem gestellt und sich ihr mit hohen Ansprüchen gerecht werdenden Ergebnissen entledigt.

Die Ergebnisse wurden durch den persönlichen Einsatz aller Mitglieder, die gute Arbeitsorganisation innerhalb des FUA, die Effektivität der halbjährlichen Beratungen und die Kontinuität der Arbeit erreicht. Hierzu diente u.a., daß der größte Teil der Ergebnisse zwischen den Beratungen von einzelnen Mitgliedern und Unterarbeitsgruppen erarbeitet und dem Plenum bzw. den Arbeitsgruppen in Form von Beratungsvorlagen und Vorschlägen zur Entscheidungsfindung vorgelegt wurden. Dadurch konnte die Intensität der freiwillig-technischen Gemeinschaftsarbeit erhöht werden. Diese Arbeitsweise ermöglichte darüber hinaus jene Kontakte, wie sie von vielen Mitgliedern auch zur technischen Vorklärung bestimmter Zusammenhänge sowie zur Ableitung von Positionen zur Weiterentwicklung benötigt werden. Die Ergebnisse stützen sich auf die Durchführung von Forschungsarbeiten auf den Gebieten:

- Kurzschlußströme in Stromrichteranlagen bei Gleichstrom-Kurzschluß und bei innerem Kurzschluß
- Kurzschlußströme von Asynchronmotoren
- Stützpunktbeanspruchung bei Leiterseilen
- Mechanische Kurzschlußstromfestigkeit von Sammelschienen
- Kurzschlußströme in batterie- und maschinengespeisten Gleichstromanlagen
- Koordination der Kurzschlußstromfestigkeit
- Toleranzwerte von Impedanzen und ihre Berücksichtigung bei der Kurzschlußstromberechnung
- Kurzschlußstrombegrenzungskupplung, Kurzschlußstrombegrenzungseinrichtung auf Stromrichterbasis
- Impedanzwerte von Stromschienenanordnungen
- Stoßkurzschlußstrom in verzweigten Netzen
- Ausschaltwechselstrom und Dauerkurzschlußstrom von Großgeneratoren
- Ausschaltwechselstrom und Dauerkurzschlußstrom von Generatoren mit statischen Erregersystemen
- Thermische Kurzschlußstromfestigkeit
- Berechnung der Fehlerströme bei Doppelerdschluß
- Berechnung charakteristischer Kurzschlußstromgrößen bei Einsatz stoßkurzschlußstrombegrenzender Geräte
- Thermische Kurzschlußstromfestigkeit bei Einsatz stoßkurzschlußstrombegrenzender Geräte
- Mechanische Festigkeit von Porzellanstützern
- Einfluß des Störlichtbogens auf den kleinsten Kurzschlußstrom in Drehstrom-Niederspannungsanlagen
- Stochastische Anlagenbemessung
- Thermisch wirksamer Mittelwert des Kurzschlußstromes von Asynchronmotoren
- Impedanzwerte von Kabeln
- Knotenpunktspannungen im Kurzschlußzustand

• Reaktanz-Korrekturverfahren
• Einfluß des Spannungsbeiwertes auf den Stoßfaktor
• Störlichtbogensicherheit/Lichtbogenschutz
• Kurzschlußstrombeanspruchung beim Einsatz von Kondensatoreinheiten großer Leistung

Die maßgebliche Mitwirkung bei der Erarbeitung der Standards
• TGL 200-0604, Blatt 1 bis 4, Ausgabe Juni 1965
• TGL 200-0604, Blatt 1 und 4, Ausgabe Dezember 1967
• TGL 200-0604/01 bis /03, Ausgabe März 1976
• TGL 200-0606, Blatt 1 bis 3, Ausgabe Dezember 1965
• TGL 200-0606/01 bis /04, Ausgabe September 1973
• TGL 200-0606/01 bis /04, Ausgabe November 1984
• TGL 200-0606/05, Ausgabe Januar 1986

und zahlreichen Projektierungsvorschriften auf den Gebieten
• der Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromanlagen
• der Berechnung von Kurzschlußströmen in Stromrichteranlagen und stromrichtergespeisten Gleichstromanlagen
• der Bemessung von Elektroenergieanlagen auf mechanische und thermische Kurzschlußstromfestigkeit

sowie leistungsfähiger Berechnungsprogramme für arbeitsplatznahe Rechentechnik, z. B.
• Bürocomputerprogramm zur Berechnung von Kabelimpedanzen
• Programme zur Berechnung der Kurzschlußströme in Drehstromanlagen nach TGL und nach IEC
• Büro- und Personalcomputerprogramm zur Berechnung der Kurzschlußströme von Synchrongeneratoren mit statischen Erregersystemen
• Programm zur Berechnung der Kurzschlußstromfestigkeit
• Vorbereitung der stochastischen Bemessung elektrotechnischer Anlagen mit Hilfe arbeitsplatznaher Rechentechnik sind Ausdruck für die unmittelbare Überführung der Arbeitsergebnisse in die Praxis.

Von besonderem Wert für die erzielten Arbeitsergebnisse war auch die internationale Zusammenarbeit zur
• TGL-GOST-Abstimmung zum Thema „Drehstromanlagen; Allgemeine Grundsätze zur Berechnung von Kurzschlußströmen"
• Bearbeitung der RGW-Empfehlung „Elektrotechnische Anlagen; Grundlagen der Auswahl und Bemessung nach den Kurzschlußbedingungen"
• Bearbeitung des RGW-Standards „Elektroenergieanlagen und Betriebsmittel; Begriffe und Definitionen; Grundlagen der Auswahl nach den Bedingungen der mechanischen und der thermischen Kurzschlußstromfestigkeit", ST RGW 2726-80
• Stellungnahme zu IEC-Dokumentationen des TC 73, darunter insbesondere die Auseinandersetzung mit den Untersuchungen und Vorschlägen, die zur Endfassung des IEC-Dokumentes 909 (Kurzschlußstromberechnung) geführt haben

sowie die Publikation des Rechenverfahrens mit einer Wertung in der Fachzeitschrift ELEKTRIE.

Die Arbeitsergebnisse des FUA 1.19 sind durch einen beachtlichen Nutzen, insbesondere hinsichtlich Steigerung der Arbeitsproduktivität und Verbesserung der Materialökonomie, gekennzeichnet. So wurde durch den Standardkomplex TGL 200-0604/01 bis /03, Ausgabe März 1976, folgender ökonomischer Nutzen bestätigt:

Gesamtnutzen	1318 TM/Jahr
davon	
durch Arbeitszeiteinsparung	138 TM/Jahr
durch Materialeinsparung	1180 TM/Jahr.

Für den Standardkomplex TGL 200-0606/01 bis /04, Ausgabe November 1984, wurde ein ökonomischer Nutzen, resultierend aus Materialeinsparungen, von etwa 6 Mill. M/Jahr eingeschätzt.

In der TGL 200-0606/5 wurden erstmalig in der Welt grundlegende Forderungen zum Lichtbogenschutz für elektrotechnische Anlagen festgelegt.

Auf dem Gebiet der Weiterbildung wurden sowohl den Mitgliedern des FUA durch Vorträge, Problemdiskussionen u. ä. neue Erkenntnisse aus angrenzenden Fachgebieten vermittelt als auch die im FUA erarbeiteten Ergebnisse durch Lehrgänge und Vorträge an viele Fachkollegen weitergegeben. Dazu zählen Lehrgänge
zu TGL 200-0604 und TGL 200-0606
• an der Industriezweigakademie der ehemaligen VVB Automatisierungs- und Energie-Anlagenbau in Zörbig und Schwerin
• beim KDT-Bezirksvorstand Berlin
• im VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin
• im VEB Starkstromanlagenbau Leipzig/Halle, Außenstelle Nordhausen

sowie mehrere Vorträge zur Anwendung von TGL 200-0604 und TGL 200-0606
• auf Fachtagungen
• auf Weiterbildungsveranstaltungen in Betrieben und Kombinaten
• an der Industriezweigakademie und Weiterbildungszentren der Kombinate und der Technischen Überwachung.

Die grundsätzlichen Orientierungen für die FUA-Arbeit auf
— Mitbestimmung des internationalen Standes der Technik auf dem Spezialgebiet durch
• Vertiefung der sozialistischen ökonomischen Integration, insbesondere mit der UdSSR und
• Mitwirkung bei den Standardisierungsbestrebungen des TC 73 der IEC
— Gewährleistung der ökonomischen Anlagenbemessung, der Erhöhung der Sicherheit und der Steigerung der Arbeitsproduktivität durch
• maßgebliche fachliche Mitwirkung bei der Erarbeitung von Neuausgaben der beiden Standardkomplexe TGL 200-0604 und TGL 200-0606
• Unterstützung und Anleitung der Betriebe und Kombinate bei der volkswirtschaftlich richtigen Anwendung der Standardkomplexe TGL 200-0604 und TGL 200-0606
• Erarbeitung neuer Forschungsergebnisse und ihre Umsetzung in die praktische Anwendung auf den Gebieten der Kurzschlußstromberechnung und -festigkeit und damit Erhöhung der Genauigkeit und Verringerung des Berechnungsaufwandes
• Berücksichtigung der Ergebnisse und Entwicklungstendenzen angrenzender Fachgebiete

haben sich als richtig bestätigt und werden auch der weiteren Arbeit zugrunde gelegt. Gerade die Einbeziehung junger Wissenschaftler und Ingenieure zu den das Arbeitsgebiet des FUA 1.19 betreffenden Problemstellungen hat die Arbeiten selbst gefördert und zur Erweiterung unseres Erkenntnisstandes für die Standardausarbeitung beigetragen, aber auch zur Graduierung der Fachkollegen, der Weiterbildung anderer FUA-Mitglieder und nicht selten zur Gewinnung neuer engagierter Mitglieder geführt. Zur Öffentlichkeitsarbeit zählen eine Vielzahl von Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Vorträgen über die erzielten Forschungsergebnisse und ihre Anwendung in der Berechnungs-, Projektierungs- und Betriebspraxis sowie die Durchführung regelmäßiger Fachtagungen:
• „Kurzschlußstrombeanspruchung in elektrotechnischen Anlagen" aus Anlaß des zehnjährigen Bestehens des FUA 1.19 im Jahr 1975
• „Kurzschlußstromberechnung und -beanspruchung" aus Anlaß des 15jährigen Bestehens des FUA 1.19 im Jahr 1980
• „Kurzschlußstromberechnung und -beanspruchung" aus Anlaß des 20jährigen Bestehens des FUA 1.19 im Jahr 1985.

Die nächste KDT-Fachtagung „Kurzschlußstromberechnung und -beanspruchung" wird aus Anlaß des 25jährigen Bestehens des FUA 1.19 im Jahre 1990 wiederum gemeinsam mit der KDT-Betriebssektion des VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig-Halle vorbereitet.

Drei Vorträge dieser Tagung werden in diesem Heft als Mitteilung aus dem FUA 1.19 veröffentlicht. EA 4028

Zur Berechnung der charakteristischen Kurzschlußströmgrößen aus dem Anfangskurzschlußwechselstrom

B. Oswald, KDT, Leipzig
ɔW

Mitteilung aus dem FUA 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen"

1. Problematik

Bei der Kurzschluß-Stromberechnung [1] mit einem Computerprogramm (z. B. dem PC-Programm SHORT [2]) steht man vor der Aufgabe, die Faktoren $\varkappa$, μ, m und n im Computer parat zu haben oder berechnen zu können.

Die erste Möglichkeit entspricht der Vorgehensweise der „Handrechnung " nach TGL 200-0604, bei der die Faktoren aus Kurven abgelesen werden. Diese Kurven könnten prinzipiell tabellarisch im Computer abgelegt sein oder durch entsprechende Approximationsfunktionen wie in [3] abgebildet werden. Dabei braucht man sich keine Gedanken darüber zu machen, wie die ursprünglichen Kurven entstanden sind.

Da aber den $\varkappa$-, μ-, m-Werten und n-Kurven für den Computer leicht auswertbare Gleichungen, abgeleitet aus dem Kurzschlußstromverlauf im Strahlennetz, zugrunde liegen, bietet es sich an, direkt diese Gleichungen auszuwerten. Das wäre die zweite, sinnvollere Möglichkeit zur Ermittlung von $\varkappa$, μ, m und n in einem Computerprogramm. Sie ist allerdings mit einer Schwierigkeit verbunden. Die in den Standards niedergelegten Kurven müssen hinsichtlich der verwendeten Gleichung und der Parameter zunächst reproduziert werden. Außerdem fällt auf, daß die Kurven für die einzelnen Faktoren, obwohl sie nur zwei Sachverhalte ausdrücken, nämlich das Abklingen des Gleich- und des Wechselanteils, grundverschieden dargestellt sind. So ist $\varkappa$ über R/X, m über t_{ag} mit $\varkappa$ als Parameter, μ über I_k''/I_n mit t_a als Parameter und n über t_{ag} mit I_k''/I_k als Parameter dargestellt. Da $\varkappa$ und m das Abklingen des Gleichanteils ausdrücken, sollten sie auch einheitlich über der Gleichstromzeitkonstante bzw. dem damit unmittelbar in Verbindung stehenden Verhältnis R/X dargestellt werden. Ebenso wäre eine einheitliche Darstellung für μ und n, entweder über t_a bzw. t_{ag} mit I_k''/I_n oder über I_k''/I_n mit t_a bzw. t_{ag} als Parameter sinnvoll. Der Vorteil der für μ und n vorgeschlagenen einheitlichen Darstellung wäre die „Befreiung" vom sehr unsicheren Dauerkurzschlußstrom, der ohnehin keine große Bedeutung als charakteristische Kurzschlußstromgröße hat.

Es ist das Ziel der vorliegenden Untersuchungen, einen einheitlichen Berechnungsalgorithmus für die vier Faktoren $\varkappa$, m, μ und n auf der Grundlage gleicher Näherungen und Parameter, der auch in Computerprogrammen verwendet werden könnte, darzustellen und mit der bisherigen Berechnungspraxis zu vergleichen. Es ist nicht das Ziel, endgültige neue Kurven vorzulegen. Dazu bedarf es einer gründlichen Diskussion und insbesondere einer „Standardisierung" der für den Kurzschlußstromverlauf maßgebenden Parameter anstelle der bisherigen Kurven.

2. Grundlegender Ausblick für den Kurzschlußstromverlauf

Die Herleitung der Faktoren $\varkappa$, μ, m und n für die Berechnung der charakteristischen Kurzschlußgrößen I_s und I_m liegt folgender vereinfachter Ausdruck für den Kurzschlußstromverlauf zugrunde:

$$i_k(t) = -\sqrt{2}\left[(I_{kN}'' - I_{kN}')\,e^{-\frac{t}{T_{dN}''}} + (I_{kN}' - I_{kN})\,e^{\frac{-t}{T_{dN}'}} + I_{kN}\right]\sin(\omega_0 t + \alpha) + I_{gN}\,e^{-\frac{t}{T_g}}\sin\alpha = i_{kw}(t) + i_{kg}(t). \quad (1)$$

Gleichung (1) gilt prinzipiell nur für 1 Maschine im Strahlennetz. Der Index N verweist darauf, daß zwischen den Klemmen der Maschine und der Kurzschlußstelle noch eine Reaktanz X_N, die dann den Maschinenparametern zugeschlagen wird, liegt. Die zu Gl. (1) führenden Vereinfachungen sind:

- — lineare Maschinentheorie (Parksches Modell ohne Sättigung, Stromverdrängung u. a., je 1 Ersatzdämpferkreis pro Achse)
- — konstante Drehzahl
- — keine Spannungsregelung
- — Vernachlässigung der Wirkwiderstände (Einführung einer Gleichstromzeitkonstante)
- — Vernachlässigung des bei $X_q'' \neq X_d''$ entstehenden 100-Hz-Anteils im Kurzschlußstromverlauf
- — Vernachlässigung des Einflusses des Querfeldes bei Kurzschluß aus einem Vorbelastungszustand
- — simultaner Kurzschlußeintritt in allen drei Strängen.

In (1) ist $\alpha = \varphi_u + \frac{\pi}{2} - \varphi_k$. Für die Stromkomponenten gilt:

$$I_{kN}'' = \frac{U''}{X'' + X_N} = \frac{c\,U_n}{\sqrt{3}\,(X_d'' + X_N)} \quad (2)$$

$$I_{kN}' = \frac{U'}{X_d' + X_N} = \frac{c'\,U_n}{\sqrt{3}\,(X_d' + X_N)} \quad (3)$$

$$I_{kN} = \frac{U_p}{X_d + X_N} = \frac{c_p\,U_n}{\sqrt{3}\,(X_d + X_N)}. \quad (4)$$

Bei Kurzschluß aus dem Leerlauf ist $c = c' = c_p$, sonst (bei Übererregung)

$$c_p > c' > c.$$

Zwischen den in Gl. (1) vorkommenden Kurzschlußzeitkonstanten und den Leerlaufzeitkonstanten (Index 0) bestehen folgende Zusammenhänge

$$\frac{T_{dN}''}{T_{d0}''}\,\frac{T_{dN}'}{T_{d0}'} = \frac{X_d'' + X_N}{X_d + X_N} \quad (5)$$

$$\frac{T_{dN}'}{T_{d0}'} \approx \frac{X_d' + X_N}{X_d + X_N}, \quad (6)$$

nach Einsetzen von (6) in (5) ergibt sich weiter

$$\frac{T_{dN}''}{T_{d0}''} \approx \frac{X_d'' + X_N}{X_d' + X_N}. \quad (7)$$

Es ist zu beachten, daß (6) und (7) Näherungen darstellen, die insbesondere bei großen Turbogeneratoren nicht immer gut sind. Die Gleichstromzeitkonstante der Kurzschlußstrombahn berechnet sich genähert aus

$$\omega_0 T_g \approx \frac{X_d'' + X_N}{R_a + R_N}. \quad (8)$$

3. Herleitung des Ausdruckes für die $\varkappa$-Kurven

Es soll zunächst der generatorferne Kurzschluß betrachtet werden. Für diesen wird das Abklingen des Wechselanteils in Gl. (1) vernachlässigt, so daß sich diese vereinfacht zu

$$i_k(t) = -\sqrt{2}\,I_{kN}''\sin(\omega_0 t + \alpha) + I_{gN}\,e^{-\frac{t}{T_g}}\sin\alpha. \quad (9)$$

Der Stoßstrom ergibt sich für $t = t_s$ und $\alpha = \alpha_s$ zu

$$i_k(t_s) = \pm I_s = \pm\sqrt{2}\,I_{kN}'' + I_{gN}\sin\alpha_{s1,2}\,e^{-\frac{t_s}{T_g}} = \pm\varkappa\sqrt{2}\,I_{kN}'', \quad (10)$$

wobei t_s und α_s aus einer Extremwertbestimmung zu ermitteln sind. Diese liefert genügend genau [5]

$$\alpha_{s1} = \varphi_{us1} + \frac{\pi}{2} - \varphi_k = \pi - \varphi_k \quad \text{und}$$

$$\alpha_{s2} = \varphi_{us2} + \frac{\pi}{2} - \varphi_k = -\varphi_k$$

$$\sin(\omega_0 t_s + \alpha_{s1,2}) = \mp 1$$

$$t_s = \frac{1}{\omega_0}\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_k\right).$$

Dozent Dr. sc. techn. *Bernd Oswald* ist stellv. Sektionsdirektor für Forschung an der Sektion Elektroenergieanlagen der Technischen Hochschule Leipzig.

Tafel 1. Parameter zur Berechnung der μ-Kurven in [4]

T_d''/s	T_d'/s	T_{dN}''	T_{dN}'
0,03	1,0	$(1 \cdots 1{,}3)\, T_d''$	$(1 \cdots 2{,}5)\, T_d'$

Tafel 2. Parameter zur Berechnung der n-Kurven nach [7]

	x_d'' (ε_p)	x_d' (ε_s)	x_d (ε_o)	T_{d0}' (T_o)	c_p (k)
TG	0,12	0,18	$\frac{1}{0{,}6}$	8 s	2,6
SG	0,17	0,23	$\frac{1}{0{,}8}$	7 s	2,3

Aus (10) folgt dann

$$\varkappa = \frac{I_s}{\sqrt{2}\, I_{kN}''} = 1 + \frac{I_{gN}}{\sqrt{2}\, I_{kN}''} \sin\varphi_k\, e^{-\frac{t_s}{T_g}} \tag{11}$$

und mit

$$\frac{I_{gN}}{\sqrt{2}\, I_{kN}''} = \frac{1}{c}$$

$$\varkappa = 1 + \frac{1}{c} \sin\varphi_k\, e^{-\frac{t_s}{T_g}}. \tag{12}$$

Gegenüber [6] ist in (12) die Phasenverschiebung δ zwischen der Spannung an der Kurzschlußstelle und der subtransienten Spannung vor dem Kurzschluß vernachlässigt. Die Abhängigkeit des Stoßfaktors vom Spannungsbeiwert c wird in den Vorschriften nicht berücksichtigt, d.h., es wird $c = 1$ gesetzt. Zwischen dem Impedanzwinkel φ_k der Kurzschlußstrombahn und dem Verhältnis R_k/X_k besteht bekanntlich die Beziehung

$$\varphi_k = \arctan\frac{X_d'' + X_N}{R_a + R_N} \approx \arctan(\omega_0 T_g). \tag{13}$$

4. Herleitung des Ausdrucks für die μ-Kurven

Aus der Definition des Ausschaltwechselstromes zum Zeitpunkt $t = t_a$ (Ausschaltverzugszeit) $I_a(t_a) = I_w(t_a)$ folgt

$$\mu = \frac{I_w(t_a)}{I_{kN}''}$$

und mit Gl. (1)

$$\mu = \left(1 - \frac{I_{kN}'}{I_{kN}''}\right) e^{-\frac{t_a}{T_{dN}''}} + \left(\frac{I_{kN}'}{I_{kN}''} - \frac{I_{kN}}{I_{kN}''}\right) e^{-\frac{t_a}{T_{dN}'}} + \frac{I_{kN}}{I_{kN}''},$$

oder, wenn für die Stromverhältnisse die Abkürzungen

$$a = \frac{I_{kN}'}{I_{kN}''} = \frac{c'}{c}\frac{X_d'' + X_N}{X_d' + X_N} = \frac{c'}{c}\frac{X_k}{X_d' + X_N} = \frac{c'}{c}\frac{x_k}{x_d' + x_N} \tag{14}$$

$$b = \frac{I_{kN}}{I_{kN}''} = \frac{c_p}{c}\frac{X_d'' + X_N}{X_d + X_N} = \frac{c_p}{c}\frac{X_k}{X_d + X_N} = \frac{c_p}{c}\frac{x_k}{x_d + x_N} \tag{15}$$

eingeführt werden:

$$\mu = (1-a)\, e^{-\frac{t_a}{T_{dN}''}} + (a-b)\, e^{-\frac{t_a}{T_{dN}'}} + b. \tag{16}$$

In [4] wird auf Grundlage der Wertebereiche nach Tafel 1 und für $e^{-\frac{t_a}{T_{dN}'}} = 1$ gesetzt und damit

$$\mu = a + (1-a)\, e^{-\frac{t_a}{T_{dN}''}}. \tag{17}$$

Nach Erweiterung mit $\pm(1-a)\left(1 - \frac{t_a}{T_{dN}''}\right)$, den ersten zwei Gliedern der Reihe für $e^{-\frac{t_a}{T_{dN}''}}$, und Einführung von bezogenen Reaktanzen wird (17) schließlich noch umgeformt zu:

$$\mu = 1 - \frac{c'}{c}(x_d' - x_d'')\frac{I_{kN}''}{c\, I_n}\frac{t_a}{T_{d0}''} + \frac{c'}{c}\frac{x_d' - x_d''}{x_d' + x_N}\left(e^{-\frac{t_a}{T_{dN}''}} - 1 + \frac{t_a}{T_{dN}''}\right). \tag{18}$$

Der Vorteil dieser Darstellung ist, daß die beiden ersten Glieder gut die prinzipielle Abhängigkeit der μ-Kurven von t_a und I_k''/I_n erkennen lassen; der letzte Term kann als Korrekturglied aufgefaßt werden. Außerdem fällt der Parameter x_d heraus.
Für die Berechnung von μ nach Gl. 19 für eine bestimmte Ausschaltverzugszeit müssen x_d'', x_d' und T_{d0}'' vorgegeben werden. Die bezogene Netzreaktanz ist dann über

$$\frac{I_{kN}''}{I_n} = \frac{c\, U_n}{\sqrt{3}\,(X_d'' + X_N)\, I_n} = \frac{c}{x_d'' + x_N} = \frac{c}{x_k}$$

mit den Parametern I_{kN}''/I_n und x_d'' verbunden und nicht mehr frei vergebbar. Mit

$$x_N = c\frac{I_n}{I_{kN}''} - x_d'' \tag{19}$$

wird

$$a = \frac{c'}{c}\, c\, \frac{I_n}{I_{kN}''}\, \frac{1}{x_d' - x_d'' + c\frac{I_n}{I_{kN}''}} = \frac{c'}{c}\, a'.$$

und

$$\frac{T_{dN}''}{T_{d0}''} = \frac{x_k}{x_d' + x_N} = a' = a\frac{c}{c'}$$

so daß folgt

$$\mu = \frac{c'}{c}a' + \left(1 - \frac{c'}{c}a'\right) e^{-\frac{t_a}{a' T_{d0}''}}, \tag{20}$$

mit

$$a' = \frac{1}{1 + (x_d' - x_d'')\frac{I_{kN}''}{c\, I_n}}.$$

Der praktische Wert der Näherung Gl. (17) für μ ist gering; da bereits für Abschaltzeiten $t_a \geqq 0{,}05$ ein beträchtlicher Fehler — μ wird zu groß berechnet — entsteht, und zum anderen die Auswertung der ausführlichen Gl. (16) auf dem für die Näherung beschriebenen Weg ebenso leicht im Rechner möglich ist. Es werden dann allerdings auch die Parameter x_d und T_{d0}' benötigt.
Die Abhängigkeit der μ-Kurven von c und c' wird in den Standards nicht berücksichtigt, d.h., es wird $c = c' = 1$ gesetzt.

5. Herleitung der Ausdrücke für die m- und n-Kurven

Der allgemeine Ansatz für die Bestimmung des thermisch wirksamen Mittelwertes ist

$$Q = \int_0^{t_{ag}} i_k^2(\tau)\, d\tau = I_m^2\, t_{ag} = (m+n)\, I_{kN}''^2\, t_{ag}, \tag{21}$$

wobei t_{ag} die Gesamtausschaltzeit darstellt. Von *Roeper* [7] wurde für $\alpha = 0$ die folgende geeignete Näherung eingeführt:

$$\begin{aligned} m + n = \frac{Q}{I_{kN}''^2\, t_{ag}} \approx{}& (1-a)^2 \frac{1}{2T_1}(1 - e^{-2T_1}) \\ &+ (a-b)^2 \frac{1}{2T_2}(1 - e^{-2T_2}) + 2b(1-a)\frac{1}{T_1}(1 - e^{-T_1}) \\ &+ 2b(a-b)\frac{1}{T_2}(1 - e^{-T_2}) + 2(1-a)(a-b)\frac{1}{T_3}(1 - e^{-T_3}) \\ &+ b^2 + \frac{I_g}{I_{kN}''^2}\frac{1}{2T_4}(1 - e^{-2T_4}). \end{aligned} \tag{22}$$

Demzufolge ist

$$m = \frac{I_{gN}^2}{I_{kN}''^2}\frac{1}{2T_4}(1 - e^{-2T_4}) = \frac{1}{c^2}\frac{T_g}{t_{ag}}\left(1 - e^{-2\frac{t_{ag}}{T_g}}\right) \tag{23}$$

und der Rest in Gl. (22) der Faktor n. a und b bezeichnen wieder die Stromverhältnisse nach den Gln. (14) und (15). T_1 bis T_4 sind be-

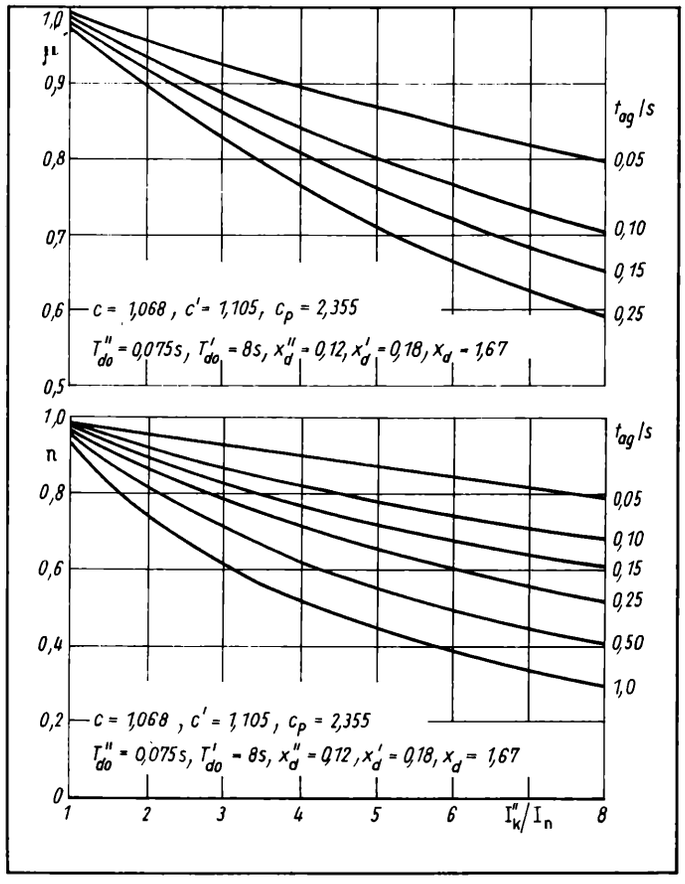


Bild 1. μ- und n-Kurven als Funktion von I_k''/I_n

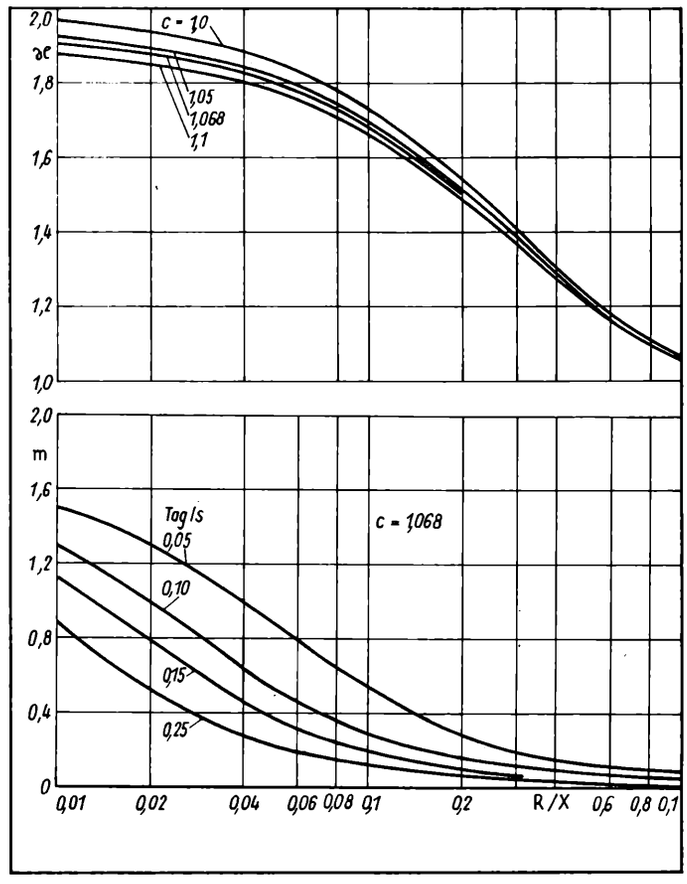


Bild 2. $\varkappa$- und m-Kurven als Funktion von R/X

zogene Zeiten

$$T_1 = \frac{t_{ag}}{T_{dN}''} \quad T_3 = t_{ag}\left(\frac{1}{T_{dN}''} + \frac{1}{T_{dN}'}\right) = \frac{t_{ag}}{T_{dN}'' T_{dN}'}\,(T_{dN}'' + T_{dN}')$$

$$T_2 = \frac{t_{ag}}{T_{dN}'} \quad T_4 = \frac{t_{ag}}{T_g}. \tag{24}$$

In [7] geht *Roeper* davon aus, daß I_{kN}'' und I_{kN} bekannt sind. Aus dem in Abschn. 4. mit b bezeichneten Verhältnis

$$\frac{I_{kN}}{I_{kN}''} = \frac{c_p}{c}\,\frac{x_d'' + x_N}{x_d + x_N} = b$$

wird

$$x_N = \frac{x_d I_{kN} - \frac{c_p}{c} x_d'' I_{kN}''}{\frac{c_p}{c} I_{kN}'' - I_{kN}} = \frac{x_d\left(b\,\frac{c}{c_p} - \frac{x_d''}{x_d}\right)}{1 - b\,\frac{c}{c_p}} \tag{25}$$

und

$$\frac{T_{dN}'}{T_{d0}'} = \frac{x_d' + x_N}{x_d + x_N} = \frac{x_d' - x_d'' + \frac{c}{c_p} b\,(x_d - x_d')}{x_d - x_d''} = \frac{b}{a}\,\frac{c'}{c_p} \tag{26}$$

berechnet. T_{dN}'' wird mit 0,1 T_{dN}' angesetzt. Unter Vorgabe von x_d'', x_d', x_d, T_{d0}' und c_p und der Annahme $c = 1$ wird nun a berechnet und damit n nach Gl. (22) als Funktion von t_{ag} und I_{kN}''/I_{kN}. Als mittlere Parameter werden die in Tafel 2 angegebenen Werte verwendet (in Klammern die veraltete Bezeichnung bei *Roeper*).

Diskussion

1. Die Vorgabe von I_{kN}'', I_{kN}, x_d'', x_d', x_d, T_{d0}' und c_p ist überbestimmt. c_p ist nämlich nicht unabhängig von der vorgegebenen Reaktanz x_d, denn es gilt

$$c_p = \frac{\sqrt{3\,U_p}}{U_n} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3\,U}}{U_n} + x_d\,\frac{I}{I_n}\sin\varphi\right)^2 + \left(x_d\,\frac{I}{I_n}\cos\varphi\right)^2}, \tag{27}$$

woraus für Nennbetrieb vor dem Kurzschluß

$$c_p = \sqrt{(1 + x_d \sin\varphi_n)^2 + (x_d \cos\varphi_n)^2} \tag{28}$$

folgt. Ebenso gilt auch

$$c = \sqrt{(1 + x_d'' \sin\varphi_n)^2 + (x_d'' \cos\varphi_n)^2}, \tag{29}$$

$$c' = \sqrt{(1 + x_d' \sin\varphi_n)^2 + (x_d' \cos\varphi_n)^2}, \tag{30}$$

nur kann man für c und c' die Unabhängigkeit von x_d'' und x_d' noch akzeptieren. Prinzipiell ist die generelle Berücksichtigung der Gln. (28) bis (30) jedoch leicht möglich. Man muß dann allerdings eine Festlegung zum stationären Ausgangspunkt treffen.

2. Die Festlegung $T_{dN}'' = 0{,}1\,T_{dN}'$ ist nicht begründet.

6. Einheitlicher Algorithmus für $\varkappa$, μ, m und n zur Berechnung in einem Computerprogramm

6.1. Berechnung der n-Kurven in Analogie zur μ-Kurve

In der Gl. (22) kommen prinzipiell nur die gleichen Stromverhältnisse und Zeitkonstanten wie in der Bestimmungsgleichung (16) für μ vor. Es bietet sich deshalb an, für beide Kurven den gleichen Algorithmus bei gleicher Parametervorgabe zu verwenden. In Anlehnung an die Vorgehensweise zur Berechnung der μ-Kurve, die ohne die unsichere Dauerkurzschlußstrombestimmung in den Standards auskommt, ist dann

x_d'', x_d', x_d, T_{d0}'' und T_{d0}'

vorzugeben. Die Vorgabe von x_d und T_{d0}' entfällt bei der μ-Berechnung nur bei der Anwendung der Näherungsgleichung (18). Es ist zu beachten, daß x_d'' bereits für die Berechnung von I_{kN}'' Verwendung findet. Anstelle von I_{kN} muß jetzt I_n bekannt sein. Es ergibt sich dann folgender prinzipieller Rechengang:

1. Bestimmung von c_p, c' und c nach (28) bis (30) (eventuell wird $c' = c = 1$ gesetzt)
2. Bestimmung von x_N aus Gl. (19)
3. Bestimmung von a und b nach den Gln. (14) und (15)
4. Bestimmung von T_{dN}' und T_{dN}'' nach den Gln. (6) und (7)
5. Bestimmung der Zeitkonstanten T_1 bis T_3 nach Gl. (24).

Das Ergebnis sind n-Kurven als Funktion von I_{kN}''/I_n und t_{ag}, die nun in gleicher Weise wie die μ-Kurve über I_{kN}''/I_n mit t_{ag} als Parameter dargestellt werden könnten.

Bild 1 enthält die so berechneten und dargestellten μ- und n-Kurven für die Parameter x_d'', x_d', x_d, T_{d0}' nach Tafel 2. Für T_{d0}'' wurde 0,075 s wie bei der Berechnung der μ-Kurven in [8] angenommen.

6.2. Berechnung der m-Kurven in Analogie zur $\varkappa$-Kurve

Der Vergleich der Beziehungen für $\varkappa$ Gl. (12)

$$\varkappa = 1 + \frac{1}{c} \sin(\arctan(\omega_0 T_g))\, e^{-\frac{t_s}{T_g}}$$

und für m Gl. (23)

$$m = \frac{1}{c^2} \frac{T_g}{t_{ag}} \left(1 - e^{-2\frac{t_{ag}}{T_g}}\right)$$

zeigt, daß beide Faktoren von der Gleichstromzeitkonstante, die wiederum vom Verhältnis R/X der Kurzschlußstrombahn abhängt, bestimmt werden. Es bietet sich deshalb an, die m-Kurven wie die $\varkappa$-Kurven als Funktion von R/X mit t_{ag} als Parameter darzustellen. Welchen Sinn hat die Wahl von $\varkappa$ als Parameter an den m-Kurven in TGL 200-0604?

Unter Verwendung des Faktors μ für $t_{ag} = t_s \approx 10$ ms kann der Ausdruck $\varkappa$ für den generatorfernen Kurzschluß leicht zu einem sinnvollen Näherungsausdruck für den generatornahen Kurzschluß erweitert werden:

$$\varkappa = 1 + \frac{\mu}{c} \sin(\arctan(\omega_0 T_g))\, e^{-\frac{t_s}{T_g}} \qquad (31)$$

mit $\mu = \mu(t_s)$.

Die Auswertung der Gln, (12) und (23) ist im Bild 2 als Funktion von R/X mit c als Parameter für die $\varkappa$-Kurven und T_{ag} als Parameter für die m-Kurven vorgenommen. Da die m-Kurven auch von c abhängen, müßte man sie noch für verschiedene c, wie die $\varkappa$-Kurven darstellen. Zur Vereinfachung wurde aber nur mit $c = 1{,}068$ wie für die μ- und n-Kurve im Bild 1 gerechnet.

Zusammenfassend ist zu bemerken, daß die Faktoren $\varkappa$, m, μ und n zur Berechnung der charakteristischen Kurzschlußgrößen unter Zugrundelegung charakteristischer Parameterwerte für die Synchronmaschine (bezogene Größen) einheitlich als Funktion von R/X ($\varkappa$ und m) bzw. von I_{kN}''/I_n (μ und n) berechnet werden können. Der Dauerkurzschlußstrom wird dann nicht mehr benötigt. Die Berücksichtigung der Abhängigkeit aller vier Faktoren vom Spannungsbeiwert legt Reserven frei und bereitet bei der Berechnung keinen zusätzlichen Aufwand, zumal c bereits bei der Berechnung von I_{kN}'' festgelegt wird.

Der Vorteil der vorgeschlagenen Berechnungsmethode besteht vor allem darin, daß nur die entsprechenden Gleichungen programmiert zu werden brauchen und keine „Kurven" zwischen denen ggf. noch interpoliert werden muß, im Rechner gespeichert werden müssen.

Literatur

[1] TGL 200-0604: Berechnung von Kurzschlußströmen. Blatt 1 und 2

[2] *Oswald, B.:* Das PC-Programm SHORT zur Berechnung von Kurzschlüssen in Elektroenergieversorgungssystemen. Energietechnik 38 (1988) 11, S. 415–417

[3] IEC Paper 909: Short-Circuit Current Calculation in Three-Phase. A. C. Systems 1988

[4] IEC-TC 73: Short-Circuit Currents, Draft-Factors for the Calculation of SCC in Three-Phase A. C. Systems according to IEC Publication 909, June 1988

[5] *Koglin, H.-J.:* Der abklingende Gleichstrom beim Kurzschluß in Energieversorgungsnetzen. Dissertation D17 TH Darmstadt, 1971

[6] *Oswald, B.:* Zur Berechnung des Stoßstromes nach TGL 200-0604, ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 12, S. 649–651

[7] *Roeper, R.:* Ermittlung der thermischen Beanspruchung bei nichtstationären Kurzschlußströmen, Elektrotechnische Zeitschrift 70 (1949) 4, S. 131–135

[8] *Kloeppel, F. W.; Fiedler, H.:* Kurzschluß in Elektroenergiesystemen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969

EA 6062

Berechnung der Impedanzen von Starkstromkabeln mit Personalcomputern

G. Winkler, KDT; D. Klose, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem FUA 1.19 „Berechnungsverfahren für elektrotechnische Anlagen"

1. Zielstellung

Die Berechnung der Kurzschlußströme bei ein- und zweipoligen Erdkurzschlüssen, zweipoligen Kurzschlüssen mit Erdberührung und Doppelerdschlüssen zum Nachweis der dynamisch-mechanischen und thermischen Festigkeit kurzschlußstromführender Leiter, des Ausschaltvermögens von Schaltgeräten und Sicherungen sowie zur Einstellung des Schutzes erfordert die Kenntnis der symmetrischen Impedanzen im allgemeinen und der Nullimpedanz im besonderen der eingesetzten Starkstromkabel. Die Typenvielfalt der gefertigten Starkstromkabel führt auf eine Vielzahl von möglichen leitenden Aufbauelementen, die als Rückleiter für den Nullstrom in Frage kommen und die Größe der Nullimpedanz beeinflussen. Die Art, Anzahl und Anordnung dieser Rückleiter ist sehr unterschiedlich. Für die Ingenieurpraxis ergibt sich daraus die Forderung einer Selektierung der häufig eingesetzten von den weniger oder kaum eingesetzten Kabeln. Letztere Kabel werden in der Priorität der durchzuführenden Berechnungen entsprechend untergeordnet. Die Ingenieurpraxis erhebt auch die zwingende Forderung nach ingenieurfreundlichen Rechenverfahren und Rechenhilfsmitteln. Die Verwendung von Personalcomputern bietet sich an. Im folgenden wird die Leistungsfähigkeit des Softwarepaketes ROXO zur Berechnung der unsymmetrischen Kabelimpedanzen beschrieben.

2. Systematisierung der standardisierten Kabeltypen

Gegenwärtig enthält das Softwarepaket die Berechnung der Impedanzen der Aufbauelemente der Starkstromkabel bis zu Nennspannungen von 30 kV. Das Rechenprogramm ist so gestaltet, daß es auch um die Berechnung von Starkstromkabeln höherer Nennspannungen bzw. ausländischer Fabrikate ohne Schwierigkeiten ergänzt werden kann. Werden die Starkstromkabel bezüglich der leitenden Aufbauelemente ohne Berücksichtigung ihrer technologischen Besonderheiten analysiert, so erhält man für den Aufbau die 8 Grundanordnungen:

1. Leiter — Isolierung
2. Leiter — Isolierung — aderumhüllender Leiter — Isolierung
3. Leiter — Isolierung — 1. aderumhüllender Leiter — Isolierung 2. aderumhüllender Leiter — Isolierung
4. Leiter — Isolierung — gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung
5. Leiter — Isolierung — 1. gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung — 2. gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung
6. Leiter — Isolierung — aderumhüllender Leiter — Isolierung — gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung
7. Leiter — Isolierung — aderumhüllender Leiter — Isolierung — 1. gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung — 2. gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung
8. Leiter — Isolierung — 1. aderumhüllender Leiter — Isolierung 2. aderumhüllender Leiter — Isolierung — 1. gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung — 2. gemeinsamer umhüllender Leiter — Isolierung

Ein aderumhüllender Leiter ist ein Hohlleiter beliebiger Form, der einen Leiter umfaßt. Ein gemeinsamer umhüllender Leiter ist ein Hohlleiter beliebiger Form, der mehrere Leiter umfaßt. Wenn beachtet wird, daß diese möglichen Grundanordnungen ein bis vier

Doz. Dr. sc. techn. *Gert Winkler* ist Hochschuldozent an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik. Dipl.-Ing. *Detlef Klose* war zur Zeit der Abfassung im VEB Kabelwerk Schwerin tätig.

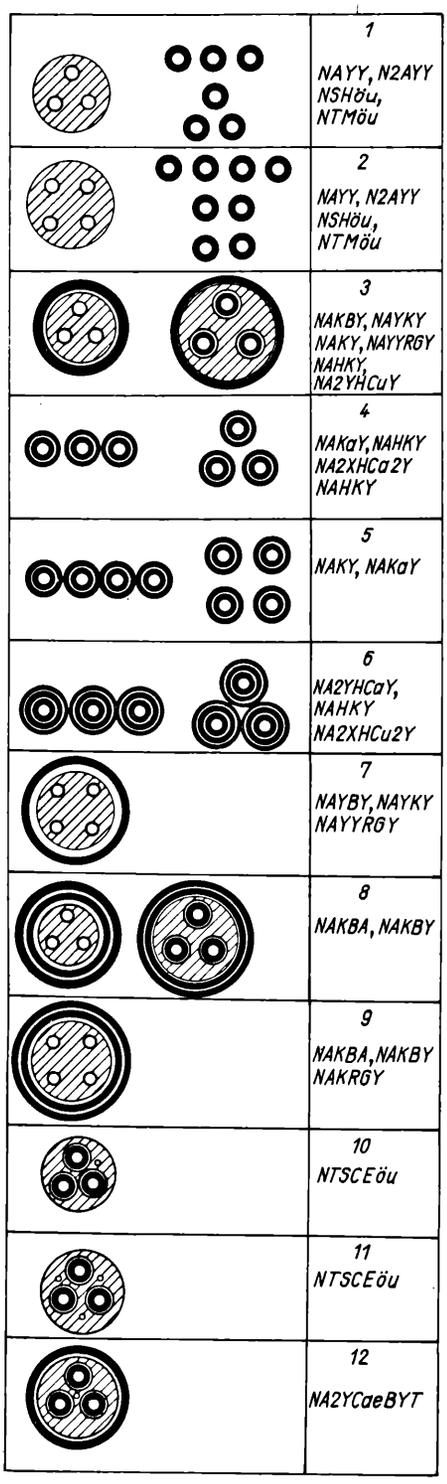


Bild 1
Starkstromkabelgrundvarianten

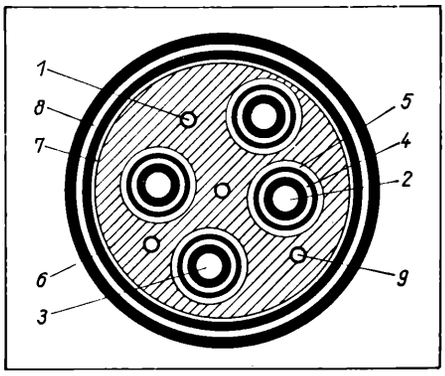


Bild 2
Modell des theoretischen Kabels

Leiter enthalten und zusätzlich leitende Prüf-, Trag- und Erdelemente eingefügt sein können, so erhöht sich die Anzahl der Rückleiter für den Nullstrom erheblich. Unter Berücksichtigung oben getroffener Einschränkung ergeben sich 12 Grundvarianten, die sich in der Anzahl der Leiter sowie ihrer Lage zueinander unterscheiden. Innerhalb einer Variante sind Abweichungen bezüglich Form, Werkstoff, Aufbau und Querschnitt zu beachten. Aufbauelemente wie Prüfadern oder Tragseile mit freiem Potential werden in die Rechnungen nicht einbezogen. Die Leiteranordnung der Grundvarianten mit Angabe ausgewählter zugeordneter Kabeltypen zeigt Bild 1.

Aus der Systematisierung ist zu ersehen, daß es möglich ist, ein allgemeines Modell für diese Grundvarianten aufzubauen. Dieses theoretische Kabel enthält alle möglichen Aufbauelemente in ihrer allgemeinen Anordnung, wobei Form, Werkstoff, Aufbau und Querschnitt der einzelnen Elemente unberücksichtigt bleiben (Bild 2). Die einzelnen Leiter und Rückleiter des theoretischen 19-Leiter-Problems haben folgende Funktion:

1. Tragorgan	d
2. Leiter	a, b, c
3. Nulleiter	n
4. 1. aderumhüllender Leiter	f, q, h, i
5. 2. aderumhüllender Leiter	j, k, l, m
6. Erde	e
7. 1. gemeinsamer umhüllender Leiter	p
8. 3. gemeinsamer umhüllender Leiter	q
9. Erd-, Hilfs- und Prüfleiter.	r, s, t

Aus diesem Modell ist der Algorithmus zur Berechnung der symmetrischen Impedanzen abzuleiten [1].

3. Berechnungsgrundlagen

Bei der Aufstellung des Gleichungssystems zur Berechnung der Nullimpedanz werden alle möglichen Rückleiter am Anfang und Ende des betrachteten Kabelabschnitts als kurzgeschlossen angenommen. Dieser Schaltung wird ein Nullstrom aufgeprägt. Aus dem Mittelwert der 3 unsymmetrischen Spannungen der Leiter und dem Nullstrom ist die Nullimpedanz zu berechnen. Bei Messungen wird davon ausgegangen, eine Nullspannung anzulegen und aus dieser und dem Mittelwert der unsymmetrischen Ströme die Nullimpedanz zu ermitteln. Aus beiden Verfahren erhält man nur bei Symmetrie des Kabelaufbaues gleiche Werte. In der Praxis muß vorwiegend der Fall angenommen werden, daß der Nullstrom dem Kabel aufgeprägt wird. Das dafür gültige Gleichungssystem und seine Auflösung nach der Nullimpedanz ist in [2] aufgezeigt. Der Algorithmus im Programm ROXO greift darauf zurück.

Für jede der Grundvarianten werden spezielle Gleichungssysteme aufgestellt und gelöst. Die Grundbeziehungen zur Bestimmung der natürlichen Impedanzen aller leitenden Aufbauelemente sind in [1] abgeleitet.

Zur Senkung des Rechenaufwands wurden Untersuchungen über die Größen durchgeführt, die Einfluß auf die Nullimpedanz haben. Es zeigt sich, daß sie den Gruppen

1. legungsbedingt
2. nennspannungsbedingt
3. querschnittsbedingt und
4. technologiebedingt

zuzuordnen sind. Im Ergebnis der Untersuchungen, die am Kabeltyp NA2YHCaY geführt wurden, ist festzustellen, daß zwischen Anordnung, Erdungsverhältnissen, Nennspannung und Alterung des konzentrischen Leiters einerseits und vorzugsweise der Nullreaktanz andererseits starke Abhängigkeit besteht. Andere Merkmale, z. B. Fertigungstoleranzen oder Glättung der mehrdrähtigen Leiter, haben wenig Bedeutung [3].

4. Rechenprogramm ROXO

Das Programm ist für Personalcomputer der 8- und 16-bit-Technik in der Programmiersprache FORTRAN geschrieben und hat einen Speicherbedarf von 42 kByte. Es wurde für die Computer A 510 (Betriebssystem SCP) und EC 1834 (Betriebssystem MS-DOS) erarbeitet.

Nach Zuordnung der zu berechnenden Starkstromkabel zu einer der 12 Grundvarianten wird diejenige Variante codiert eingegeben und die entsprechenden Matrizen und Vektoren, deren Ordnung von der Anzahl der Rückleiter abhängt, ausgewählt.

Dem Bediener werden dann vom Computer die jeweiligen Kabelkenngrößen abgefordert. Es müssen nur Daten eingegeben werden, die die Kabelkennblätter enthalten. Alle weiteren Größen, die zur Berechnung der symmetrischen Impedanzen notwendig sind, werden daraus von den entsprechenden Unterprogrammen selbst errechnet. Die entscheidende Größe auf die Nullimpedanz ist der Erdungswiderstand. Er wird in weiten Grenzen variiert, um die Grenzfälle der Impedanzen, die für die kleinsten und größten Kurzschlußströme maßgebend sind, erfassen zu können. Das Programm ist in 4 Blöcken mit 21 Unterprogrammen aufgebaut. Programmteil 1 enthält die Eingabe, die kabelspezifisch angelegt ist. Alle aus den Kabelkennblättern notwendigen Hilfsgrößen für die Impedanzberechnung werden in diesem Block ermittelt. Im Programmteil 2 werden aus diesen aufbereiteten Daten die speziellen natürlichen Impedanzen berechnet. Es wird z. B. exakt zwischen massiven oder aus Flach- oder Runddrähten aufgebauten Hohlleitern unterschieden. Im Programmteil 3 werden die kabelspezifischen Teilmatrizen aufgebaut und die Mitimpedanz als Bezugsgröße berechnet. Die Ermittlung der Nullimpedanzen erfolgt im Programmteil 4. In diesem Teil werden umfangreiche komplexe Matrizenoperationen durchgeführt und die auf die Mitimpedanz bezogene Nullimpedanz berechnet.
Die Unterprogramme umfassen 11 Hilfs-, 3 Bibliotheks- und 7 Funktionsprogramme. In den Hilfsprogrammen wird die Bildschirmgestaltung, Grundvariantenbestimmung und die Berechnung der notwendigen Hilfsgrößen aus den Kabelkennblättern vorgenommen. Bei den Matrizenoperationen wird auf Bibliotheksprogramme zurückgegriffen. Mit den Funktionsprogrammen werden die natürlichen Resistanzen und Reaktanzen der möglichen Aufbauelemente berechnet.

5. Zusammenfassung

Mit dem für Personalcomputer entwickelten Programm ROXO können für die in der DDR gefertigten Nieder- und Mittelspannungs-Leistungskabel die symmetrischen Impedanzen bestimmt werden. Die Dialogführung ist so aufgebaut, daß vom Bedienenden nur die den Kabelkennblättern zu entnehmenden Größen auf Abforderung des Computers einzugeben sind. Durch die Variabilität der Erdverhältnisse sind die Kabelimpedanzen für größte und kleinste Kurzschlußströme berechenbar. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, daß sich die in der Projektierungsvorschrift 1.8/12.87 aufgeführten Impedanzen von Starkstromkabeln weitgehend decken [4]. Der gewählte Programmaufbau ermöglicht die Ergänzung um beliebige Kabelarten.

Literatur

[1] *Klose, D.:* Berechnung der Nullimpedanzen von Starkstromkabeln – Dokumentation zum Rechenprogramm ROXO. Fachbericht TU Dresden, Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik 1987

[2] *Schulze, U.; Winkler, G.:* Nullimpedanzen von Einleiter-PE-Kabelsystemen. TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Bericht 603/84

[3] *Winkler, G.:* Nullimpedanzen der Mittelspannungs-PE/VPE-Starkstromkabel. Energietechnik 39 (1989) 3, S. 110–113

[4] Projektierungsvorschrift 1.8/12.87. Kurzschlußströme in Drehstrom-Anlagen. Teil 1: Resistanz- und Reaktanzwerte

EA 6068

Sonnen-Großkraftwerk in der Schweiz geplant

Schweizerische Kraftwerksunternehmen wollen im Kanton Bern das bisher größte photovoltaische Kraftwerk in Europa errichten. Auf dem Mont Soleil soll ein Solarzellenfeld in der Größe von etwa zwei Fußballfeldern mit 500 kW Höchstleistung entstehen. Das Sonnenkraftwerk soll eine Jahresproduktion haben, die ungefähr dem jährlichen Verbrauch von 200 Haushalten entspricht.
(EL)

Zuverlässigkeit und Fehlerwahrscheinlichkeit von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung[1)]

F. Golletz, KDT; H. Böhme, KDT; Dresden

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Verwendete Formelzeichen und Indizes

a	Hauptleitermittenabstand
f	Funktion
f_e	Eigenfrequenz
F	Kraft am Stützerkopf
F_{dyn}	Kraft am Stützerkopf, die die höchste dynamische Beanspruchung kennzeichnet
F_{max}	maximale Kraft am Stützerkopf
F_{min}	minimale Kraft am Stützerkopf
F_{stat}	statische Last am Stützerkopf
F_{umin}	Mindestbiegebruchkraft
I_k	Dauerkurzschlußstrom
p_B	Dichtefunktion der Beanspruchung
P_f	Fehlerwahrscheinlichkeit
q	Streckenlast
t	Zeit
V_S	Verteilungsfunktion des mechanischen Stehvermögens ($\triangleq$ der mechanischen Festigkeit)
Z	Zuverlässigkeit
α	Einschaltwinkel
$\varkappa$	Stoßfaktor
λ	Netzdämpfung
μ	Permeabilität
ω	Netzkreisfrequenz

Hohe Kurzschlußleistungen und damit verbundene größere Kurzschlußströme bewirken im Fehlerfall eine höhere Belastung der im Netz installierten Betriebsmittel [1]. Daraus (und aus der eventuellen Abnahme der Festigkeit) ergibt sich eine verminderte Differenz zwischen der bei einem Fehler auftretenden maximalen Beanspruchung und dem Stehvermögen des betrachteten Elements.
Um Aussagen über die Zuverlässigkeit eines Betriebsmittels bei Kurzschlußstrombelastung machen zu können, ist es notwendig, die Ausfallwahrscheinlichkeit P_f bei einer Belastung der betrachteten Anordnung zu bestimmen. Sie ergibt sich bei bekannter Dichtefunktion $p_B(F)$ der Beanspruchung und bekannter Verteilungsfunktion $V_S(F)$ der Festigkeit zu [2]:

$$P_f = \int_{F_{min}}^{F_{max}} p_B(F)\, V_S(F)\, \mathrm{d}F. \tag{1}$$

Die Zuverlässigkeit Z, als Eigenschaft eines Systems, vorgegebene Funktionen unter Einhaltung der Werte festgelegter Betriebskenngrößen in vorgegebenen Grenzen über einen bestimmten Zeitraum zu erfüllen [3], ist nach [4] durch

$$Z = 1 - P_f \tag{2}$$

gekennzeichnet.
Die Beanspruchung ist das Ergebnis der Reaktion des betrachteten Betriebsmittels auf eine Belastung. Sie ist also sowohl von den Parametern der Belastung als auch von den Eigenschaften des be-

Dipl.-Ing. *Frank Golletz;* Prof. Dr. sc. techn. *Helmut Böhme,* Lehrstuhl Hochspannungsgeräte an der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden.

[1)] Erweiterung des Vortrages „Mechanische Belastung und Beanspruchung von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung", vorgestellt von den Autoren auf dem XI. Kolloquium des VE Kombinates Verbundnetze (6./7. 12. 1988 in Berlin).

lasteten Systems abhängig. Durch Verminderung der Belastung und/oder gezieltes Beeinflussen wirksamer Eigenschaften des Systems kann die Beanspruchung vermindert werden.
Die Festigkeit (elektrisch, mechanisch) elektrotechnischer Betriebsmittel wird während ihrer Lebensdauer (in der Regel) kleiner. Sie kann durch den Austausch gegen ein anderes Betriebsmittel (mit größerer Festigkeit) erhöht werden.
Am Beispiel der mechanischen Beanspruchung von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung wird im folgenden gezeigt, wie — ausgehend von der Belastung über die mechanisch-dynamischen Eigenschaften eines in einen Trenner eingebauten Stützers — die Beanspruchung mit der Festigkeit verglichen und damit die Zuverlässigkeit quantifiziert werden kann. Schließlich wird versucht, die am Beispiel gewonnenen Erkenntnisse zu verallgemeinern.

1. Verhalten des Systems „Seil — Stützpunkt" bei Kurzschlußstrombelastung

1.1. System „Seil — Stützpunkt"

110-kV-Stützer werden in Umspannwerken meist in Trennern eingesetzt und sind in der Regel mit Seil belegt. Da sowohl das Seil als auch der im Trenner eingebaute Stützer im mechanischen Sinn schwingungsfähige Systeme sind, ist die getrennte Betrachtung des Systems „Seil" und des Systems „Stützpunkt" möglich. Das System „Seil" besteht aus dem Seil und dessen Abspannpunkten. Der „Stützpunkt" umfaßt den Stützer und dessen mechanischen Unterbau (z. B. Stahlkonstruktion oder Betonsäule, Bild 1).

1.2. Belastung und Beanspruchung des Systems „Seil"

Belastet wird das „Seil" im Kurzschluß aufgrund der Kraftwirkung zwischen stromführenden Leitern durch eine elektromagnetische Streckenlast. Diese ergibt sich z. B. für zweipoligen Kurzschluß zu (Bild 2) [5]:

$$q(t) = q_{st}\,(1 + 2\sin^2\alpha\,e^{-2\lambda t} + 4\sin\alpha\,e^{-\lambda t}\sin(\omega t - \alpha) - \cos(2\omega t - 2\alpha)) \quad (3)$$

$$q_{st} = \mu_0 I_k^2/2\,\pi a\,.$$

Sie besteht aus einem konstanten Gleich- (Bild 2b) und Wechselglied (100 Hz, Bild 2c) sowie einem flüchtigen Gleich- (Bild 2d) und Wechselglied (50 Hz, Bild 2e). Die Streckenlast wirkt als Belastung direkt auf das Seil und ist außer von Höhe und Verlauf des Kurzschlußstromes auch von der Kurzschlußdauer und -art und dem Leitermittenabstand abhängig (Bild 3, Zeile 1).
Das System „Seil" reagiert auf diese Belastung mit einer Schwingbewegung. Dadurch erhöht sich der Seilzug und damit die Seilzugspannung. Das „Seil" wird mechanisch-dynamisch beansprucht. Die Beanspruchung des Systems „Seil" ist abhängig von Höhe und Verlauf der elektromagnetischen Streckenlast, der Seilmasse, -länge, dem statischen Seilzug und der Federkonstante der Abspannpunkte (Bild 3, Zeile 2).

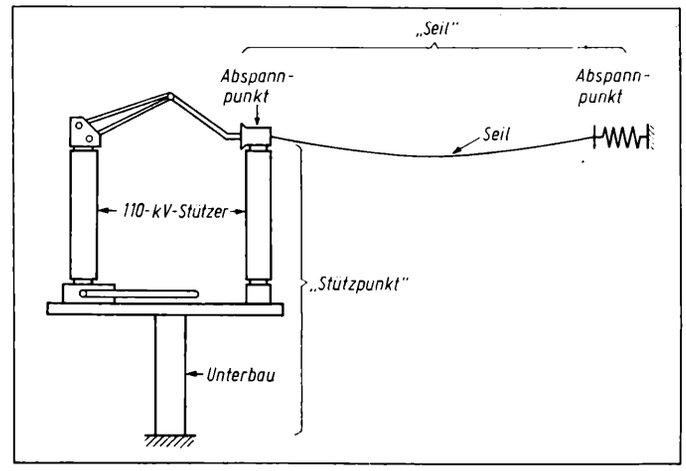


Bild 1. 110-kV-Stützer eingebaut in einen Trennerpol und mit Seil belegt

1.3. Belastung und Beanspruchung des Systems „Stützpunkt"

Belastet wird der „Stützpunkt" am Stützerkopf durch den aus der Reaktion des Seiles auf die elektromagnetische Streckenlast herrührenden, dynamischen Seilzug. Dieser regt den „Stützpunkt" — dessen Schwachstelle der Porzellan-Isolierkörper des Stützers ist — zu Biegeschwingungen an. Die Beanspruchung kann somit z. B. als Dehnung des Stützerporzellans quantifiziert werden. Sie ist abhängig vom am Stützerkopf angreifenden Seilzug und von den mechanisch-dynamischen Eigenschaften (z. B. Eigenfrequenzen) des Systems „Stützpunkt" (Bild 3, Zeile 3).

2. Quantifizierung der Stützerbeanspruchung

2.1. Versuchsaufbau

Um Aussagen über die Größe der Beanspruchung eines 110-kV-Stützers und eine mögliche Beeinflussung derselben bei Kurzschlußstrombelastung machen zu können, wurde im Labor ein Teil eines 110-kV-Freileitungsabganges (zweipolig zu ebener Erde, mit Seilbelegung $1 \times$ Al/St 240/40, $l = 3$ m) errichtet. Zur Erhöhung der Kurzschlußkräfte wurde der Hauptleitermittenabstand reduziert. Dadurch konnten Streckenlasten erreicht werden, die bei einem Dauerkurzschlußstrom bis zu 32 kA im Umspannwerk auftreten würden.

Bild 2. Elektromagnetische Streckenlast und deren Bestandteile (für $\alpha = \pi/2$ und $\lambda = 5\pi/s$; $q_G = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$)

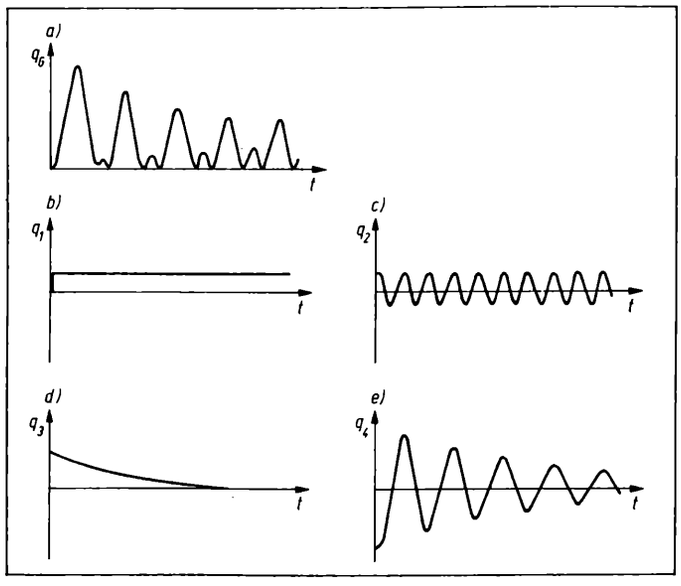
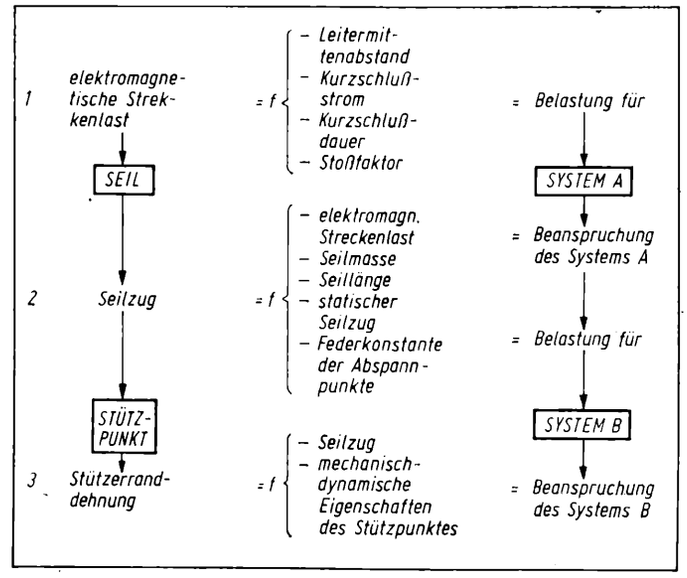


Bild 3. Wirkungskette der mechanischen Beanspruchung eines 110-kV-Stützers bei Kurzschlußstrombelastung



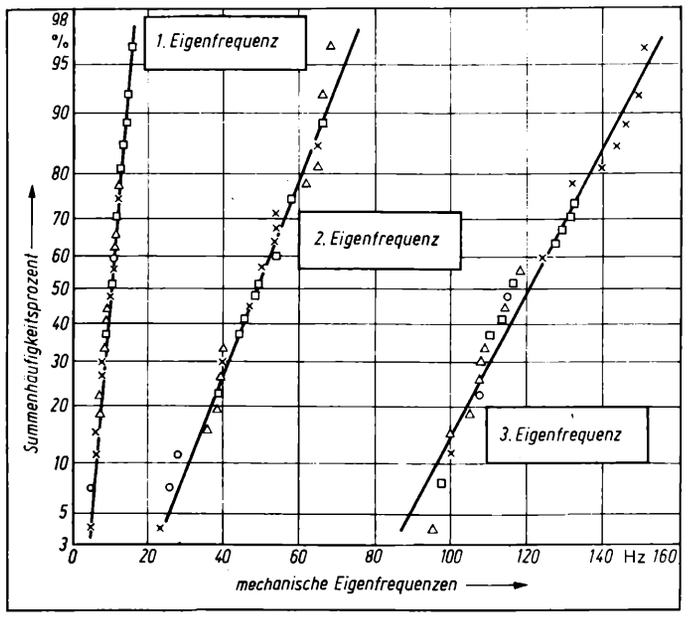


Bild 4. Im Umspannwerk gemessene mechanische Eigenfrequenzen von 110-kV-Stützern (eingebaut in: x Längs-, △ Leitungs-, □ Sammelschienentrenner; o Einzelstützer auf Betonsäule)

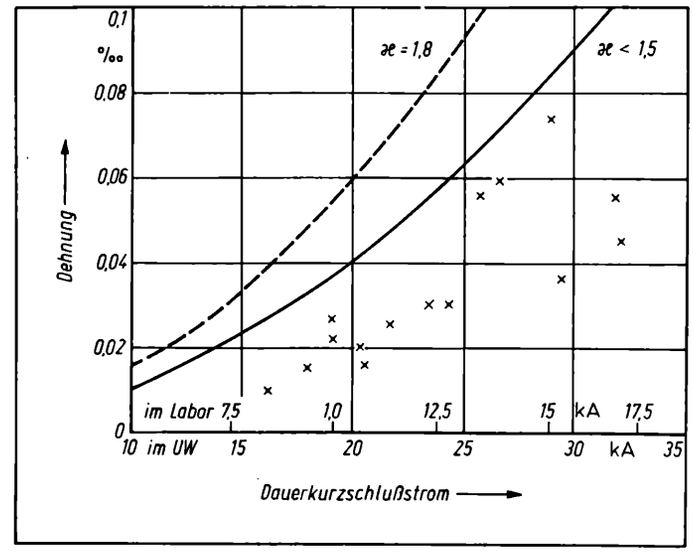


Bild 5. Abhängigkeit der maximalen Beanspruchung (Dehnung) eines 110-kV-Stützers (eingebaut in einen Leitungstrenner) von Dauerkurzschlußstrom

2.2. Mechanisch-dynamische Eigenschaften des „Stützpunktes"

Der „Stützpunkt" ist ein schwingungsfähiges System. Die Hauptkenngrößen eines solchen Systems sind seine mechanischen Eigenfrequenzen. Diese wurden von 110-kV-Stützern, eingebaut in Sammelschienen-, Längs- und Freileitungsabgangstrenner und freistehend auf einer Betonstütze, in zwei verschiedenen Umspannwerken ermittelt. Es zeigte sich, daß die Stützer (bis 200 Hz) drei typische mechanische Eigenfrequenzen mit abnehmendem Leistungsanteil haben (Bild 4). Trotz unterschiedlichen Unterbaus sind die ersten, zweiten und dritten mechanischen Eigenfrequenzen für alle untersuchten Stützer nicht signifikant voneinander verschieden. Das bedeutet, daß die Variation des Unterbaus der 110-kV-Stützer (im Gegensatz zu Stützern in der Mittelspannungsebene [2]) nur geringen Einfluß auf die mechanisch-dynamischen Eigenschaften des „Stützpunktes" und damit die Beanspruchung des Stützers bei Kurzschlußstrombelastung hat. In Kurzschlußversuchen im Labor konnte dieses Verhalten (mit in drei Stufen erhöhter Nachgiebigkeit des Unterbaus) bestätigt werden. Damit werden faktisch alle 110-kV-Stützer des untersuchten Typs, unabhängig von ihrem Einbauort, bei gleicher Belastung quasi gleich beansprucht.

2.3. Gemessene Beanspruchung von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung

Die Beanspruchung von 110-kV-Stützern wurde im Labor als Porzellanranddehnung am Strunk über dem untersten Schirm des Stützers ermittelt.

Die maximale Beanspruchung der betrachteten Anordnung ist im wesentlichen von Größe und Verlauf der elektromagnetischen Streckenlast und damit von Höhe und Verlauf des Kurzschlußstromes abhängig [6]. Mechanisch-dynamische Eigenschaften der Systeme „Seil" und „Stützpunkt" bestimmen die Beanspruchung ebenfalls, aber ihre Variation in technisch sinnvollen Grenzen bewirkt keine technisch nutzbare Beeinflussung der Beanspruchung eines 110-kV-Stützers bei Kurzschlußstrombelastung.

Die Untersuchungen ergaben für die obere (auf der sicheren Seite liegenden) Hüllkurve aller gemessenen Beanspruchungen (Dehnungen) Proportionalität zwischen Beanspruchung und Quadrat des Dauerkurzschlußstroms (Bild 5, durchgehender Kurvenverlauf), wenn der Stoßfaktor $\varkappa < 1{,}5$ ist. Der Proportionalitätsfaktor (10^{-7}/kA²) gilt nur für die betrachtete Anordnung und Kurzschlußstrombelastungen mit einem Stoßfaktor kleiner 1,5. Für Kurzschlußstrombelastungen mit einem Stoßfaktor $\varkappa = 1{,}8$ ist mit einer um 50 % erhöhten Beanspruchung (gegenüber $\varkappa < 1{,}5$) zu rechnen (Proportionalitätsfaktor $1{,}5 \cdot 10^{-7}$/kA², Bild 5, gestrichelter Verlauf).

Für den derzeitig größten zu erwartenden Dauerkurzschlußstrom von etwa 30 kA (für die 110-kV-Sammelschiene von 380/220/110-kV-, 380/110-kV-, 220/110-kV-Umspannwerken) ergäbe sich (unter der Voraussetzung, daß dieser Strom durch die Leiter der betrachteten Anordnung fließt) eine Porzellanranddehnung von etwa 0,09 ‰.

3. Mechanische Festigkeit von 110-kV-Stützern

3.1. Statische und dynamische Umbruchfestigkeit

Stützer, eingebaut in Trennern, werden sowohl statisch (durch den statischen Seilzug) als auch dynamisch (bei Kurzschlußstrom- oder Windbelastung) auf Biegung beansprucht.

Nach [7] sind keramische Werkstoffe allgemein sehr spröde und weisen keine Unterschiede der statischen und dynamischen Festigkeit auf. Experimentell konnte das sowohl an Porzellanprobekörpern [8] als auch an 110-kV-Stützern [9] nicht widerlegt werden. Im Kurzschlußversuch ermittelte maximale Beanspruchungen sind somit auf eine statische Belastung, die die gleiche Beanspruchung hervorruft, umrechenbar. Die im Kurzschluß wirkende und auf eine statische Last umgerechnete Kraft kann dann mit der vom Hersteller für den Stützer angegebenen Mindestbiegebruchkraft [10] verglichen werden.

3.2. Verteilungsfunktion der Festigkeit

3.2.1. Einpunktverteilung

Die Angabe einer Mindestbiegebruchkraft könnte man im statistischen Sinne als eine Einpunktverteilung für die mechanische Festigkeit der Stützer auffassen. Das würde bedeuten, daß jeder Stützer Biegekräften, die kleiner als die Mindestbiegebruchkraft sind, standhält. Größere Kräfte würden in jedem Fall den Stützer zerstören.

Diese Betrachtungsweise stimmt nicht mit der Realität überein. Die mechanische Festigkeit von Stützern ist eine statistische Größe, da die Festigkeit des Porzellans infolge des unterschiedlichen Gefügeaufbaus innerhalb des Porzellankörpers statistischen Gesetzen unterliegt [11]. Die Mehrzahl der Umbruchkräfte einzelner Stützer ist größer als die Mindestbiegebruchkraft. Es kann aber nicht davon ausgegangen werden, daß kleinere Kräfte nicht zum Bruch führen können. Um Aussagen über die Wahrscheinlichkeit des Bruches eines Stützers auch bei Kräften kleiner als die Mindestbiegebruchkraft zu erhalten, ist die Kenntnis der tatsächlichen Verteilungsfunktion der Festigkeit notwendig.

3.2.2. Verteilungsfunktion der mechanischen Festigkeit fabrikneuer 110-kV-Stützer

Zur Ermittlung der Verteilungsfunktion der mechanischen Festigkeit fabrikneuer 110-kV-Stützer standen 111 Bruchrealisierungen

an Stützern zur Verfügung, die mit einer Mindestbiegebruchkraft von 8 kN gekennzeichnet waren.[2]) Die statistische Auswertung der Meßwerte (mit Hilfe eines Rechenprogramms unter Nutzung der Maximum-Likelihood-Methode [12]) ergab drei Kollektive von Bruchwerten [13] (1. Brüche bis 10 kN, 2. Brüche zwischen 10 kN und 20 kN, 3. Brüche größer 20 kN), die durch Doppelexponentialverteilungen approximiert werden können (Bild 6).
Hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Stützer bei Kurzschlußstrombelastung interessiert vor allem das erste Kollektiv, das als quasi unvollständige Stichprobe behandelt [4] wird. Es ergibt sich die Mindestbiegebruchkraft beim 0,2-%-Quantil. Der Zusammenhang zwischen statischer Kraft am Stützerkopf und Dehnung des Stützerporzellans am Strunk über dem untersten Schirm wurde im Labor an einem in einen Trenner eingebauten Stützer (ohne Zerstörung) ermittelt. Es zeigte sich die erwartete lineare Abhängigkeit der Dehnung von der statischen Last. Bei der Mindestbiegebruchkraft ergäbe sich eine Dehnung von 0,25‰ (Bild 7).

3.2.3. Verteilungsfunktion der mechanischen Festigkeit alter 110-kV-Stützer

Zur Ermittlung der Verteilungsfunktion standen 21 Werte von Bruchrealisierungen an 25 Jahre alten, äußerlich nicht veränderten Stützern zur Verfügung. Die Stützer waren durch eine Mindestbiegebruchkraft von 6 kN gekennzeichnet. Auch hier ergaben sich bei der statistischen Auswertung drei Kollektive von Brüchen (Bild 6; 1. Brüche kleiner 7,5 kN, 2. Brüche zwischen 7,5 kN und 11 kN, 3. Brüche größer 11 kN), die jeweils parallel zu den Teilkollektiven der neuen (und höherfesten) Stützer liegen.
Für das erste Kollektiv ergibt sich die Mindestbiegebruchkraft beim 3-%-Quantil.
Gleichzeitig bei den Biegebruchversuchen (mit fester Einspannung des Stützers) gemessene Dehnungen am Strunk des Isolators über dem untersten Schirm ergaben wiederum einen linearen Zusammenhang zwischen der Kraft am Stützerkopf und der Dehnung (Bild 7). Für die Mindestbiegebruchkraft ergab sich eine Dehnung von 0,3‰.

4. Beispiel zur Ermittlung der Zuverlässigkeit von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Fehlers und damit für die mechanische Zerstörung eines Stützers bei Kurzschlußstrombelastung kann nach (1) berechnet werden. Dabei müssen die Dichtefunktion der Beanspruchung und die Verteilungsfunktion der Festigkeit in gleicher Maßeinheit vorliegen. Als Verteilungsfunktion der Festigkeit für neue und 25 Jahre alte 110-kV-Stützer wird von den Teilkollektiven mit den kleinsten Umbruchkräften ausgegangen. Es ergeben sich Doppelexponentialverteilungen, die aus quasi unvollständigen Stichproben resultieren.
Die Dichtefunktion der Beanspruchung ist abhängig von der Wahrscheinlichkeit der Belastung und dem mechanisch-dynamischen Verhalten des Systems „Seil-Stützpunkt" bei Kurzschlußstrombelastung. Für die untersuchte Anordnung ist sowohl der Zusammenhang zwischen Kurzschlußstrombelastung und maximaler Beanspruchung (Bild 5) als auch zwischen statischer Belastung und der Beanspruchung (Bild 7) bekannt. Dadurch ist es möglich, die bei einem bestimmten Dauerkurzschlußstrom auftretende Belastung in eine statische Last am Stützerkopf (die die gleiche Beanspruchung wie der entsprechende Dauerkurzschlußstrom hervorruft) umzurechnen.
Die Dichtefunktion der Beanspruchung ergibt sich (mit der Umrechnung) aus der Dichtefunktion des Kurzschlußstroms. Sie kann für jeden Netzpunkt berechnet werden [14].
Als Beispiel wurde die Dichtefunktion des Dauerkurzschlußstroms eines im Vergleich zu üblichen 110-kV-Freileitungsabgängen hochbelasteten Abganges (maximaler Dauerkurzschlußstrom: 28,5 kA) bestimmt[3]) (Bild 8).
Durch Lösung des Integrals (1) (z. B. numerisch mit der Simpson-Regel [15]) wurde schließlich die Wahrscheinlichkeit für den Umbruch eines Stützers bei einer Kurzschlußstrombelastung berechnet. Sie beträgt bei dreipoligem Kurzschluß und Stoßfaktoren $\varkappa = 1{,}8$ für neue Stützer mit der Mindestbiegebruchkraft von 8 kN $P_f = 5{,}3 \cdot 10^{-13}$ und für alte Stützer mit der Mindestbiegebruch-

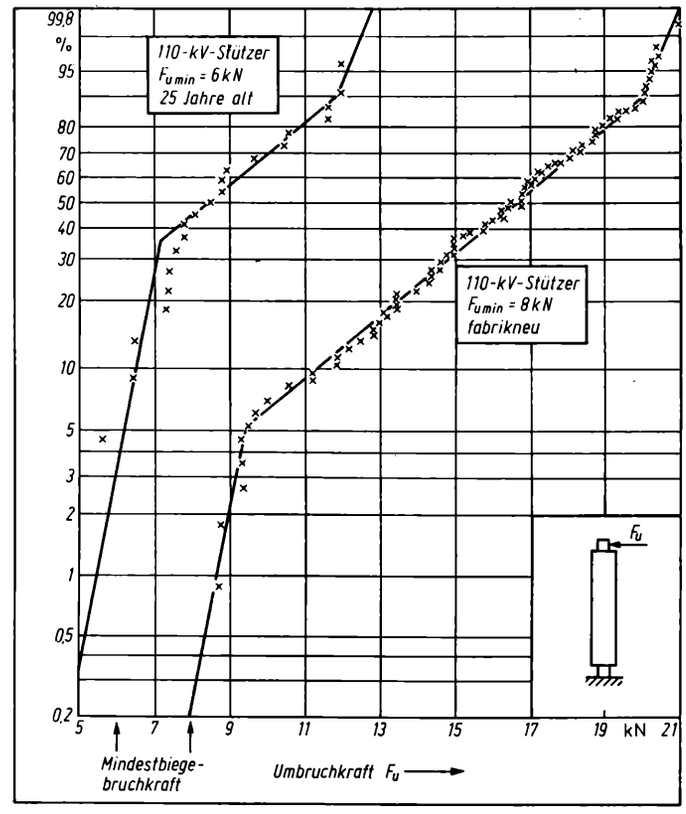


Bild 6. Verteilungsfunktion der mechanischen Festigkeit neuer und 25 Jahre alter 110-kV-Stützer

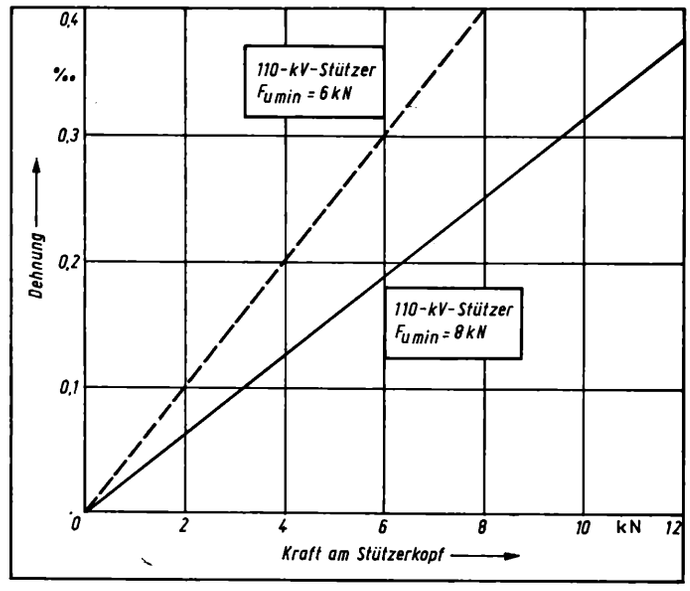
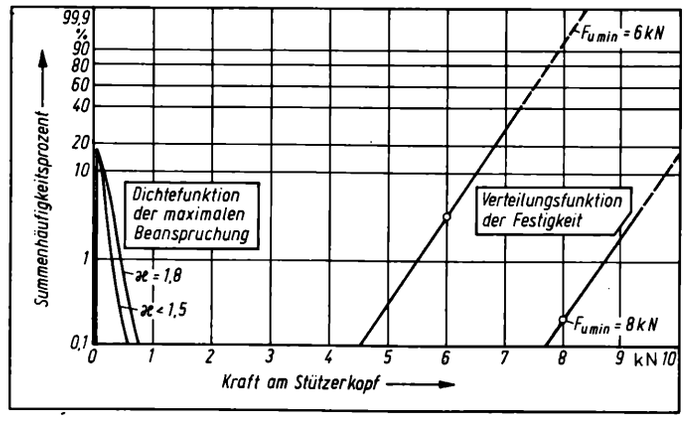


Bild 7. Abhängigkeit der mechanischen Beanspruchung (Dehnung) von der statischen Belastung
– – – Stützer fest eingespannt; ——— Stützer eingebaut in Leitungstrenner

Bild 8. Dichtefunktionen der maximalen Beanspruchung und Verteilungsfunktionen der Festigkeit von 110-kV-Stützern



[2]) Die Meßwerte wurden freundlicherweise vom VEB Elektroporzellanwerk „Margarethenhütte" Großdubrau zur Verfügung gestellt.

[3]) Die Autoren danken Herrn Dipl.-Ing. *R. Lehmann* (Institut für Energieversorgung Dresden) für die Berechnung der Überschreitungswahrscheinlichkeit des Kurzschlußstroms.

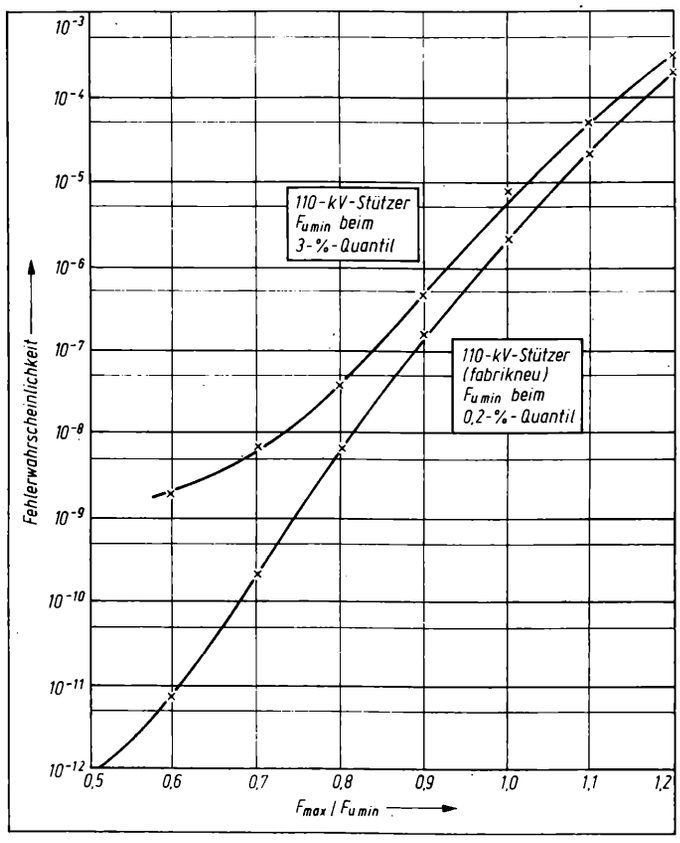


Bild 9. Abhängigkeit der Fehlerwahrscheinlichkeit vom Verhältnis der maximalen Belastung F_{max} (hervorgerufen von einem Kurzschlußstrom mit einem Stoßfaktor $\varkappa = 1{,}8$) zur Mindestbiegebruchkraft F_{umin}

kraft von 6 kN $P_f = 4 \cdot 10^{-9}$. Daraus ergibt sich nach (2) eine Zuverlässigkeit von $Z_{8kN} = 1 - 5{,}3 \cdot 10^{-13}$ bzw. $Z_{6kN} = 1 - 4 \cdot 10^{-9}$. Für Kurzschlußströme mit Stoßfaktoren 1,5 ergeben sich die Zuverlässigkeiten zu $Z_{f8kN} = 1 - 2{,}8 \cdot 10^{-13}$ bzw. $Z_{f6kN} = 1 - 2 \cdot 10^{-9}$.

5. Fehlerwahrscheinlichkeit und zulässige Belastung eines 110-kV-Stützers bei Kurzschlußstrombelastung[4])

Um die Ergebnisse des untersuchten Beispiels zur Beanspruchung, Festigkeit und Fehlerwahrscheinlichkeit verallgemeinern zu können, wird folgendes vorausgesetzt:

1. Die statische Belastung F_{stat} des Stützers (statischer Seilzug) vor dem Kurzschluß ist bekannt.
2. Es ist möglich, für jeden Kurzschlußstromverlauf die höchste dynamische Beanspruchung des Stützers zu ermitteln (für das Beispiel siehe Bild 5) und diese Beanspruchung mit einer äquivalenten Kraft F_{dyn} am Stützerkopf, die die gleiche höchste Beanspruchung hervorruft wie der Kurzschlußstromverlauf, zu kennzeichnen (für das Beispiel siehe Bild 7).
3. Der keramische Isolierkörper ist die mechanische Schwachstelle der betrachteten Anordnung. Es besteht kein Unterschied zwischen statischer und dynamischer Festigkeit der Stützer (vgl. Abschn. 3.1.). Damit ist es möglich, die maximale Beanspruchung des Stützers durch eine Kraft F_{max}, die gleich der Summe aus statischer (Pkt. 1) und dynamischer Kraft (Pkt. 2) ist,

$$F_{max} = F_{stat} + F_{dyn}, \tag{4}$$

zu kennzeichnen und mit der Festigkeit zu vergleichen.

4. Die gemessenen Verteilungsfunktionen für den Bruch des Stützers (Bild 6) sind repräsentativ. Die Mindestbiegebruchkraft liegt im Bereich zwischen 0,2-%-Quantil und 3-%-Quantil. (Es ist möglich — aber mit den Ergebnissen in Abschn. 3.2. nicht hinreichend beweisbar —, daß das 0,2-%-Quantil dem fabrikneuen und das 3-%-Quantil dem 25 Jahre alten Stützer zuzuordnen ist.)
5. Die Dichtefunktion der Beanspruchung ist repräsentativ hinsichtlich des funktionalen Verlaufes. Die Höhe der Beanspruchung ergibt sich aus Pkt. 2, gekennzeichnet durch die Kraft F_{dyn} beim höchstmöglichen Kurzschlußstrom.

Mit diesen Voraussetzungen ergibt sich:

1. Einfluß der Beanspruchung auf die Fehlerwahrscheinlichkeit:
   Wird das Verhältnis der maximalen Beanspruchung (gekennzeichnet durch F_{max}) zur Mindestbiegebruchkraft F_{umin} (F_{max}/F_{umin}) um 0,1 erhöht, erhöht sich die Fehlerwahrscheinlichkeit (= Wahrscheinlichkeit für den Bruch eines Stützers bei einer Kurzschlußstrombelastung) im Mittel um das 10fache (Bild 9).
2. Einfluß der Mindestbiegebruchkraft auf die Fehlerwahrscheinlichkeit:
   Werden Stützer mit einer um 2 kN kleineren Mindestbiegebruchkraft eingesetzt, erhöht sich die Fehlerwahrscheinlichkeit um das 1000- bis 10000fache (für das Beispiel vgl. Abschn. 4).
3. Einfluß der Alterung auf die Fehlerwahrscheinlichkeit:
   Infolge Alterung wird die Fehlerwahrscheinlichkeit (vermutlich, vgl. Pkt. 4 der Voraussetzungen) nicht mehr als 5fach erhöht.
4. Einfluß des Stoßfaktors auf die Fehlerwahrscheinlichkeit:
   Für übliche maximale Stoßfaktoren $1{,}5 < \varkappa < 1{,}8$ ergeben sich Fehlerwahrscheinlichkeiten, die bei den größten Stoßfaktoren etwa 2fach höher sind als bei den kleinsten (für das Beispiel vgl. Abschn. 4).
5. Technisch sinnvolle Höhe der relativen Beanspruchung
   F_{max}/F_{umin}:
   Läßt man — analog zu vergleichbaren Einschätzungen [16] [17] [18] — eine höchste Fehlerwahrscheinlichkeit von $1 \cdot 10^{-6}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$ je Kurzschlußstrombelastung zu, darf die maximale Kraft F_{max} (die die statische und dynamische Beanspruchung kennzeichnet) etwa gleich der Mindestbiegebruchkraft sein (Bild 9). Damit ist eine plausible Koordination zwischen Stehvermögen und (äquivalenter) Belastung des Stützers auch im Sinne der statistisch betrachteten Beanspruchung und Festigkeit begründet.

Aus Bild 9 läßt sich, bei Vorgabe einer zu erreichenden minimalen Zuverlässigkeit (z. B. 99,9999 % = maximaler Fehlerwahrscheinlichkeit $P_f = 1 \cdot 10^{-6}$), die am Stützerkopf maximal zulässige Kraft F_{max} bestimmen ($F_{max8kN} = 7{,}8$ kN, $F_{max6kN} = 5{,}6$ kN). Ist die maximal mögliche dynamische Belastung F_{dyn} (hervorgerufen vom höchst möglichen Dauerkurzschlußstrom) bekannt, kann der zulässige statische Seilzug für den betrachteten Stützer ermittelt werden. Andererseits ist es möglich, bei bekannter statischer Vorbelastung F_{stat} die höchst zulässige dynamische Belastung (und daraus den zulässigen Kurzschlußstrom), bei der gerade die gewünschte Zuverlässigkeit erreicht wird, zu bestimmen.

6. Zusammenfassung

110-kV-Stützer (eingebaut in Trenner und mit Seil belegt) werden bei Kurzschlußstrombelastung mechanisch hoch beansprucht. Ob ein Stützer dieser Belastung standhält, ist abhängig von seiner Belastung, den mechanisch-dynamischen Eigenschaften des Systems „Seil — Stützpunkt" und der Festigkeit des Stützers.
Am Beispiel eines Freileitungsabgangstrenners wurde gezeigt, wie die Belastung durch die elektromagnetische Streckenlast über den Seilzug (= Beanspruchung für das Seil und Belastung für den Stützpunkt) in die Beanspruchung des Stützers umgesetzt wird. Des weiteren wurden Verteilungsfunktionen der mechanischen Festigkeit fabrikneuer und alter 110-kV-Stützer vorgestellt. Als Beispiel wurde für beide die Ausfallwahrscheinlichkeit bei dreipoligem Kurzschluß mit Stoßfaktoren gleich 1,8 und kleiner 1,5 ermittelt.
Basierend auf bestimmten Voraussetzungen wurde der Einfluß von Beanspruchung, Festigkeit und Alterung der Stützer sowie der Einfluß des Stoßfaktors des Kurzschlußstroms auf die Wahrscheinlichkeit des Bruches eines 110-kV-Stützers bei einer Kurzschlußstrombelastung diskutiert.
Bemerkenswert ist, daß bei einer Belastung der betrachteten Stützer von der Größe der Mindestbiegebruchkraft die Fehlerwahrscheinlichkeit (und damit auch die Zuverlässigkeit) gerade die als technisch sinnvoll angesehene Größe erreicht.

[4]) Vorgesehen für 1990 als Vortrag auf der Fachtagung „Kurzschlußstromberechnung und -beanspruchung" des FUA 1.19.

Weiterhin wurde gezeigt, wie bei vorgegebener minimaler Zuverlässigkeit (bzw. maximaler Fehlerwahrscheinlichkeit) zulässige dynamische bzw. statische Belastungen eines 110-kV-Stützers bestimmt werden können.

Literatur

[1] *Ambrosch, H.; Böhme, H.; Pundt, H.:* Zuverlässigkeitserhöhung von Elektroenergiesystemen durch optimale Gestaltung von Betriebsmitteln und Anlagen und Vorausberechnung von Betriebsvorgängen. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, S. 149–154

[2] *Stauch, G.:* Zur mechanisch dynamischen Beanspruchung kompakter Schaltanlagen bei Kurzschlußstrombelastung. Dissertation A. TU Dresden 1985

[3] TGL 26096/01 Zuverlässigkeit in der Technik; Begriffe. Ausg. 1. 78

[4] *Härtler, G.:* Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[5] *Warttmann, B.:* Beitrag zum dynamischen Verhalten von Stützern in Schaltanlagen bis 36 kV bei Kurzschlußstrombelastung. Dissertation A. TU Dresden 1981

[6] *Böhme, H.; Golletz, F.:* Mechanische Belastung und Beanspruchung von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung. Berlin: XI. Kolloquium des VE Kombinates Verbundnetze Energie 1988

[7] *Hecht, A.:* Elektrokeramik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1976

[8] *Dannheim, H.; Oel, H. J.:* Festigkeit von technischem Porzellan für Hochspannungsisolatoren bei dynamischer und zyklischer Belastung. Ber. Dt. Keram. Gesell. 61 (1984) 2, S. 84–91

[9] *Stein, N.*, u. a.: Dynamic behaviour and strenght of high voltage substation post insulators under short-circuit loads. CIGRE-Session Paris 1984, Bericht 23–12

[10] TGL 22096/01 Stützer aus keramischen Werkstoffen für Isolationsspannungen 1,2 kV und darüber. Ausg. 9. 81

[11] *Barthelt, H.; Weyl, D.:* Mechanische Festigkeit von Porzellankörpern und deren Abhängigkeit von deren Abmessungen. ETZ-A Bd. 80 (1959) 14. S. 445–449

[12] *Speck, J.:* Statistische Auswertung experimenteller Daten zur Alterung elektrotechnischer Betriebsmittel. 11. Wiss. Konf. der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1987

[13] *Obenaus, F.:* Bruchaussehen und mechanische Bruchlast von Porzellan im Bilde der Großzahlforschung. Silikattechnik Bd. 1, Nr. 2, Nov. 1950

[14] *Radtke, U.:* Berechnung der Verteilungsfunktion charakteristischer Kurzschlußstromgrößen von Elektroenergienetzen auf der Grundlage stochastischer Simulation. Dissertation A. TU Dresden 1980

[15] *Bartsch, J.:* Mathematische Formeln. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981

[16] TGL 200-0606/05 Bemessung von Elektroenergieanlagen auf Kurzschlußfestigkeit, Lichtbogenschutz. Ausg. 1. 86

[17] *Vainberg, M.; Germany, M. D.; El-Kady, M.; Ganton, R. W. D.:* Probabilistic uprating of 230 kV strain bus system at substations with high fault currents. Brüssel: CIGRE-Symposium 1985, Bericht 310-03

[18] *Muschick, E.; Pilz, E.; Berger, F.:* Entscheidungsprobleme der Elektroenergietechnik. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 371–377

EA 6048

Grundstein für neue Messehalle der Elektrotechnik/Elektronik gelegt

Auf dem Leipziger Messegelände wird eine neue Messehalle für den Industriebereich Elektrotechnik und Elektronik der DDR entstehen. Die feierliche Grundsteinlegung vollzog Anfang September der Minister für Elektrotechnik und Elektronik, *Felix Meier*, im Beisein des Ministers für Außenhandel der DDR, *Dr. Gerhard Beil*, und des Generaldirektors des Leipziger Messeamtes, *Siegfried Fischer*.

Sechs Kombinate und ihre Außenhandelsfirmen werden mit dem Neubau ein neues Domizil erhalten. Nach dem Modell eines Dresdner Architektenkollektivs unter Leitung von Dr. *Peter Staufenbiel* wird es von Fachleuten des polnischen Industriebauunternehmens Krakbud bis 1992 fertiggestellt. Mit dem attraktiven Gebäude, das sich durch eine moderne Architektur auszeichnet, werden 5700 m² Ausstellungs- und Verhandlungsfläche geschaffen. Damit wird der Rolle der Elektrotechnik und Elektronik bei der weiteren Gestaltung der Außenwirtschaftsbeziehungen der DDR Rechnung getragen und das Messegelände durch einen weiteren Anziehungspunkt bereichert.

(ADN/El)

Jetzt in 5., durchgesehener Auflage!

Kleines Lexikon der Mikroelektronik

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Eugen-Georg Woschni. Reihe Automatisierungstechnik, Band 207. 72 Seiten, 90 Bilder, 11 Tafeln, Broschur, 000480; 4,80 M; 8,— DM. Auslieferung durch den Fachbuchhandel. Bestellangaben: 554 167 9/Woschni, Lexikon RA 207

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Erweiterung des Funktionsinhaltes der Verarbeitungsebene für die Schaltanlagenleittechnik auf Mikrorechnerbasis

H. Bauer, KDT; D. Obenaus, KDT; Dresden

1. Funktionsumfang der Schaltanlagentechnik

Durch die Schaltanlagenleittechnik auf Mikrorechnerbasis zur Betriebsführung und -überwachung in einem 380-/110-kV-Umspannwerk werden im wesentlichen die Steuerung, die Zustandsabbildung und die Protokollführung realisiert [1] (Tafel 1). Der Schutz ist konventionell ausgeführt. Die 20 schaltfeldbezogenen Verarbeitungsrechner sind in Richtung Prozeß über Lichtwellenleiter mit der jeweiligen Vor-Ort-Elektronik und in Richtung Mensch-Maschine-Kommunikation über ein Bussystem mit dem Leitrechner verbunden [2] (Bild 1). Bus und Lichtwellenleiter dienen auch der Taktverteilung für die zeitgleiche Abtastung aller 120 Meßwerte im gesamten Umspannwerk und für die Echtzeituhr in jedem Verarbeitungsrechner. Bei der Echtzeitbelastung des Verarbeitungsrechners sind die DMA-Arbeit für die ständige Datenübertragung vom Lichtwellenleiter zum Speicher mit 200 kbit/s sowie die Interrupt-Arbeit für Uhr, Diagnose, Fehlerkorrektur und Informationsaustausch mit dem Leitrechner zu berücksichtigen (Tafel 2). Die übrigen Funktionen werden auf Task-Ebene durch das Betriebssystem gesteuert, wobei die Meßwertverarbeitung den größten Anteil der Zykluszeit von ungefähr 1 s beansprucht. Der gesamte Speicher je Verarbeitungsrechner umfaßt derzeit 15-kByte-Programme und Daten sowie 5-kByte-Arbeitsspeicher.

2. Fehlerentfernungsberechnung und Stördatenspeicherung

Zur Bestimmung des Fehlerortes auf Hochspannungsleitungen sind mit Hilfe digitaler Distanzschutz-Algorithmen die Resistanz und/oder die Reaktanz der bis zu sechs Kurzschlußschleifen aus den zeitgleich abgetasteten je drei Strom- und Spannungswerten zu berechnen und mit den bezogenen Leitungsparametern zu vergleichen [3]. Im Unterschied zum Distanzschutz sind die Auswertezeiten unkritisch, so daß die Berechnung als Taskverarbeitung auch über eine Warteschlange niedrigster Priorität eingeordnet werden kann. Da alle erforderlichen Meßwerte ständig in den Speicher geschrieben werden, ist die Rettung der Abtastwerte innerhalb eines Meßfensters mindestens 10 ms vor und 30 ms nach Fehlereintritt zu realisieren. Als Triggerereignis kann das Auslösesignal des Schutzes für den betreffenden Leistungsschalter, das durch die für zentrale Meldungen zuständige Vor-Ort-Elektronik in der Warte erfaßt wird, genutzt werden. Dazu ist vom Verarbeitungsrechner für zentrale Meldungen ein Telegramm mit der Auslösezeit über den Anlagenbus zu dem für das betreffende Schaltfeld zuständigen Verarbeitungsrechner zu übertragen.

Ähnliche Voraussetzungen sind für die Stördatenspeicherung erforderlich. Als Triggersignale sind jedoch 1 aus n verknüpfte, ausgewählte Schutzanregungen einzubeziehen. Die Fensterbreite für die Speicherung beträgt etwa 1 s, wobei die Verarbeitungsrechner aller Schaltfelder und der zentralen Meldungen in die Aufzeichnung einbezogen sein können. Das Uhrzeit-Telegramm für die Triggerung kann gleichzeitig an alle beteiligten Verarbeitungsrechner übertragen werden.

3. Realisierung der Datenspeicherung

Bei einer Kompaktspeicherung (12 Bytes für 6 Meßwerte und maximal 4 Bytes für Meldungen je 1,25 ms) erfordert eine Aufzeichnung von 1,25 s Dauer 16 kByte. Wird der gesamte Rahmeninhalt (32 Bytes je 1,25 ms) gerettet, ist eine Speichertiefe von 32 kByte erforderlich.

Dr.-Ing. *Hartmut Bauer* ist Hochschuldozent an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Elektroenergietechnik, Dipl.-Ing. *Dieter Obenaus* ist Gruppenleiter Hardware-Entwicklung im VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden, Bereich Technik.

Tafel 1. Funktionsumfang der Schaltanlagenleittechnik SIS/HS in einem 380-/110-kV-Umspannwerk

Funktionsgruppe	Betriebsmittel, Zustände, Ereignisse	Bedingungen, Besonderheiten
Steuerung	T, ET	mit Schaltfehlerschutz
	LS	mit Synchro-Check (ΔU, $\Delta \varphi$)
	Transformator	Stufenstellwerk
	LS, T, ET	Sperren (für Wartung)
Zustandsabbildung	LS, T, ET, TW	Schaltzustand (+ Zwischenstellung)
	Transformotor	Stufenstellung
	Prozeßstörungsmeldung	10 ms Rasterauflösung
	U, I, P, Q, f, ϑ	1 s zyklische Nachführung Grenzwertkontrolle
	Leittechnik (intern)	Diagnose + Eigenüberwachung
Protokollführung	Schaltzustandsänderung	automatisch alle Ereignisse
	Grenzwertüberschreitung	ausgewählte Ereignisse
	Störung	ausgewählte Betriebszustände

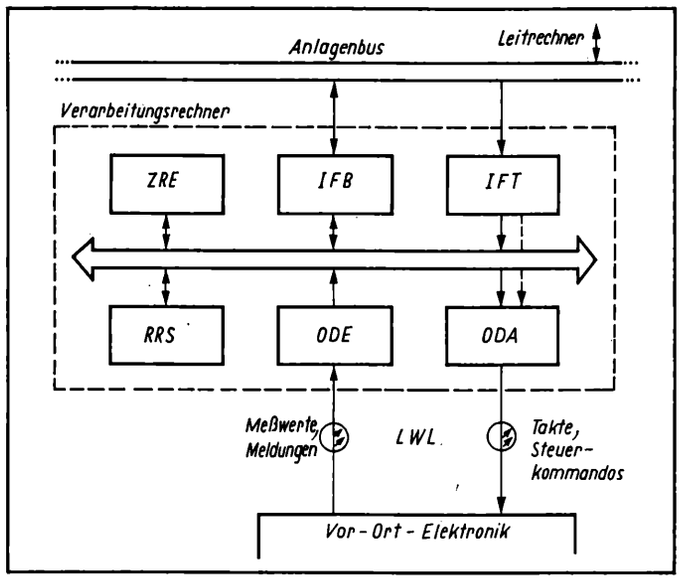


Bild 1. Struktur eines schaltfeldbezogenen Verarbeitungsrechners

IFB Bus-Interface
IFT Takt-Interface und Test-Baugruppe
LWL Lichtwellenleiter
ODA Opto-digitale Ausgabe
ODE Opto-digitale Eingabe
RRS Arbeits- und Festwertspeicher (RAM-ROM-Speicher)
ZRE Zentrale Rechner-Baugruppe

Die hierfür geeignete K 1520 kompatible Speicherkarte RRS[1]) enthält 16 Steckplätze für wahlweise RAM- oder EPROM-Schaltkreise mit insgesamt 32 kByte, wobei die EPROMs im eingelöteten Zustand von außen programmierbar sind. Die Adressierung ist beliebig, es können Ausblendungen in 2-kByte-Stufen erfolgen, als auch die Steuerung von zwei 16-kByte-Segmenten über MEMDI 1 und 2 oder die Sperrung der gesamten Karte über MEMDI.
Ein Batteriemodul mit einer 5 Jahre lagerfähigen Lithiumbatterie und einer Regelung auf 2 V ermöglicht eine RAM-Stützung für mindestens 200 h. Der Modul ist während des Betriebes tauschbar und kann auch für mehrere Speicherkarten gemeinsam genutzt werden. Jeder Schaltkreis ist dabei einzeln für die Stützung auswählbar. Der Batteriezustand wird überwacht, indem durch den Rechner eine definierte Belastung zugeschaltet und das Signal eines Komparators ausgewertet wird.
Die gesamte Karte benötigt eine Versorgungsspannung 5 V bei einer Stromaufnahme von 300 mA.
Zukünftig ist die Erweiterung auf 128 kByte durch den Einsatz von 64-kByte-Schaltkreisen möglich. Außerdem soll die Fehlererkennung bei erhöhten Sicherheitsanforderungen durch Vergleich von zwei gleichen 64-kByte-Segmenten mit Fehlertoleranz durch Auswertung eines 9. Bit ergänzt werden.

Literatur

[1] *Bauer, H.:* Entscheidungskriterien für die Entwicklung und für den Einsatz von mikrorechnergestützter Prozeßleittechnik für Umspannwerke. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 11, S. 405–409
[2] *Bauer, H.:* Strukturen für Leit- und Schutztechnik in Schaltanlagen. IX. Wiss. Konf. der TH Zittau, 7.–9. 6. 89, Session VI, S. 34–39
[3] *Bauer, H.; Gnüchtel, K.; Leucke, D.; Schindler, J.:* Integration of diagnostic methods into microcomputer aided process control. Beitrag zur 10. CIRED, Brighton (Großbritannien), 8.–12. 5. 89, Session 4

EA 6061

[1]) Hersteller VEB „Otto Buchwitz" Starkstromanlagenbau Dresden

	Anforderung Art	Anforderung Anzahl s	Anforderung Schaltkreis	Dauer einmalig µs	Dauer gesamt absolut ms	Dauer gesamt relativ %	Aufgaben
1	B	25600	DMA	5	128	13	Dateneingabe von VOE über LWL
2	I	700	DMA	300	210	21	Diagnose
3	I	100	DMA	1000... 3000	100... 300	10... 30	Diagnose, Meldungsauswertung, Uhr, Meßwerttransfer
4	I	0... 50	CTC ϕ	200... 20000	200... 20000	2	Wiedersynchronisierung
5	I	... 100	CTC 1	50	... 5	0,5	Trennersteuerung - Überwachung
6	I	100	CTC 2	140... 260	14... 26	2,5	Uhr
7	I	49	PIO ϕ	40	2	0,2	Uhrkontrolle
8	I	1	PIO ϕ	170... 220	0,2	0,0	Uhrkorrektur, Synchronisation
9	I	0... 2	PIO 1	50... 80	≈ 0,1	0,0	Bus-Treiber: Befehle
10	I	0... 1	PIO 1	50... 100	≈ 0,1	0,0	Bus-Treiber: Steuerung
11	I	0... 40	PIO 2	100... 200	... 5	< 0,5	Bus-Treiber: Listener
12	I	0... 40	PIO 2	100... 200	... 5	< 0,5	Bus-Treiber: Talker

◢ nur bei asynchronen Takten — B = Bus Request
◤ nur bei Trennersteuerung — I = Interrupt

Tafel 2. Zeitliche Belastung eines Verarbeitungsrechners durch Bus- und Interruptanforderungen bei einer Taktfrequenz von 2,5 MHz

Abschätzung der wirksamen Sternpunkterdung im teilstarr geerdeten Hochspannungsnetz bei der Sternpunktumstellung

B. Boytschev, Sofia

1. Problemstellung

Gegenwärtige Untersuchungen zeigen, daß der Erdkurzschlußstrom manchmal verhältnismäßig schneller ansteigt, als der dreipolige Kurzschlußstrom [1]. Dieser schnelle Anstieg wird vor allem durch den verstärkten Einsatz von großen und zahlreichen Block- und Netzspartransformatoren mit unmittelbar (starr) geerdetem Sternpunkt verursacht [2]. Eine Reduzierung des Erdkurzschlußstroms kann durch die Vergrößerung der Gesamtnullsystemimpedanz (Gesamtnullsystemreaktanz) erzielt werden, indem einige Sternpunkte der Netztransformatoren entweder über Impedanzen (Reaktanzen) oder überhaupt nicht geerdet (isoliert) werden [3] [1]. Es ist jedoch erforderlich, daß das Hochspannungsnetz auch bei reduziertem Erdkurzschlußstrom mit wirksamer Sternpunkterdung betrieben wird [1].

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, sowohl die Wirkung der Sternpunktumstellung auf das Sternpunktisolationsniveau als auch die des Erdkurzschlußstromschutzes in einem teilstarr geerdeten Hochspannungsnetz bei Erdkurzschluß im stationären Zustand und bei einer Zunahme der Anzahl der Netzspartransformatoren aufzuzeigen.

Es wird eine beliebige Hochspannungs-Netzkonfiguration betrachtet. Der Erdkurzschlußstrom kann so verändert werden, daß ein zuverlässiges Sternpunktisolationsniveau erreicht wird ebenso wie gute Betriebsbedingungen und Selektivität des Erdkurzschlußstromschutzes. Es handelt sich also um ein Verfahren zur Abschätzung und Analyse der Sternpunkterdung und der Wirkung des Erdkurzschlußstromschutzes in einem teilstarr geerdeten Hochspannungsnetz bei der Sternpunktumstellung, d.h. bei Vergrößerung der Gesamtnullreaktanz oder bei Reduzierung des teilweise angestiegenen Erdkurzschlußstromes.

Die Berechnungen werden mit einem Digitalrechner Robotron ESER 1040 nach dem im Bild 1 gezeigten Algorithmus mit Hilfe eines Kurzschlußstrom-Berechnungsprogramms (COMPUT SC) und eines neuen Modellierungsprogramms (USRUPDTA) der Sternpunkterdungsreaktanzgrößen durchgeführt [1].

2. Theoretische Grundlagen

Das Berechnungsflußdiagramm zur Abschätzung der Erdkurzschlußverhältnisse im Hochspannungsnetz bei einer Sternpunktumstellung ist im Bild 1 gezeigt.

Im Programmablaufplan wird folgende Forschungsfolge berücksichtigt:

— Die dem mathematischen Modell entsprechenden Hochspannungsnetzdaten werden in den Digitalrechner zur weiteren Berechnung eingeführt.

— Für eine beliebige Konfiguration und einen bestimmten Betriebszustand des Hochspannungsnetzes werden mit einem Kurzschluß-strom-Berechnungsprogramm (Hauptprogramm) COMPUT SC die ein- und dreipoligen Anfangskurzschlußwechselströme $I''_{k(1)}$ (Erdkurzschlußstrom) und $I''_{k(3)}$ in kA sowie die Kurzschlußleistung $S''_{k(3)}$ in MVA berechnet.

Zusätzlich werden die Kennziffern m, α und C_E bestimmt:

$$m = \frac{I''_{k(1)}}{I''_{k(3)}} \tag{1}$$

m Anfangskurzschluß-Wechselstromverhältnis

$$\alpha = \frac{X_0}{X_{1E}} \tag{2}$$

α Gesamtnullreaktanz — Gesamtreaktanzverhältnis
X_0 Gesamtnullreaktanz im Hochspannungs-Netzknotenpunkt
X_{1E} Gesamtreaktanz im Hochspannungs-Netzknotenpunkt

$$C_E = \frac{U_A}{U_N} = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \alpha + 1}}{\alpha + 2} = \frac{U_{LE}}{U_b} = \frac{C_f}{\sqrt{3}} < 1 \tag{3}$$

C_E Erdungszahl

$C_E = 0{,}8$ wird nach GOST als Abschätzungskennziffer für die wirksame Sternpunktförderung empfohlen [5].

U_A Spannung gegen Erde erdkurzschlußfreien Leiter bei Erdkurzschluß in einem beliebigen Punkt am Leiter B oder Leiter C

$U_N = U_b = \sqrt{3}\, U_B$ = verkettete Spannung = Betriebsspannung

$$C_f = \frac{U_{LE}}{U_B} = \frac{U_{LE}}{\frac{U_b}{\sqrt{3}}} = \frac{U_{LE}}{\frac{1}{\sqrt{3}}\, U_b} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^{-1} \frac{U_{LE}}{U_b} = \frac{\sqrt{3}\, U_{LE}}{U_b} = \frac{\sqrt{3}\, U_A}{U_N} = \sqrt{3}\, C_E \tag{4}$$

C_f Erdfehlerfaktor
$C_f = 1{,}384$ wird nach IEC und TGL als Abschätzungskennziffer für die wirksame Sternpunkterdung empfohlen [1]
U_{LE} größerer Wert von U_B und U_C bei Erdkurzschluß am Leiter A
U_B Strangspannung
C_E Erdungszahl.

Die Erdungszahl C_E ist eine echte Kennziffer für die Wirksamkeit der Sternpunkterdung und das Isolationsniveau im Hochspannungsnetz. Die endgültigen Ergebnisse ermöglichen die Abschätzung und Analyse des Ausschaltvermögens der Leistungsschalter, die wirksame Sternpunkterdung im Hochspannungsnetz und die Betriebsanalyse des Erdkurzschlußstromschutzes.

Für einen ausgewählten Netzbezirk sind in Abhängigkeit von den Grenzgrößen der Kennziffern α, m, C_E oder C_f ($1 \leqq \alpha \leqq 5$; $0{,}43 \leqq m \leqq 1$; $0{,}6 \leqq C_E \leqq 0{,}8$; $1{,}038 \leqq C_f \leqq 1{,}384$) die sogenannte charakteristische Hochspannungs-Netzknotenzahl ausgewählt. Liegen keine Angaben für die Kurzschlußstrom- und Kennziffergrößen vor, dann werden zuerst die I_k'' (1)-Werte berechnet:

— Für ausgewählte charakteristische Knotenpunkte werden die Transformatoren mit geerdetem Sternpunkt und unterschiedlichen Nennleistungen ins Hochspannungsnetz mit dem Hilfsprogramm USRUPDTA, das mit dem Hauptprogramm COMPUT SC gekoppelt ist, eingeführt. Die modellierten Sternpunkt-Erdungsreaktanzgrößen entsprechen den Nennleistungen der Transformatoren.

— Nach der Einführung der Transformatoren mit entsprechenden Sternpunkt-Erdungsreaktanzen in das Hochspannungsnetz, werden

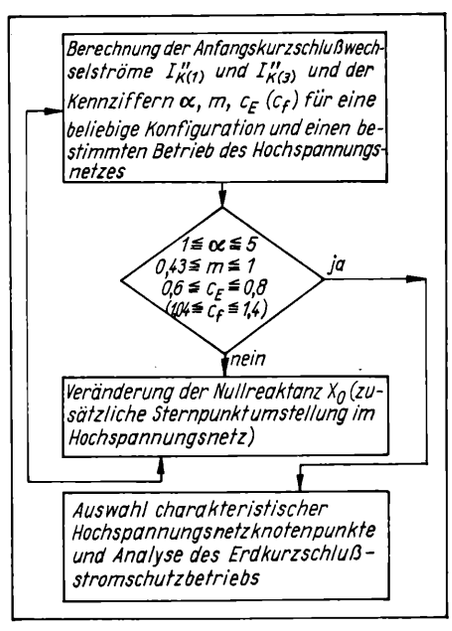


Bild 1
Berechnungsflußdiagramm

Doz. Dr.-Ing. *Boshidar Boytschev* ist Leiter der Sektion Elektrische Netze und Systeme im Wissenschaftlichen Forschungsinstitut für Energetik ENERGOPROJEKT-DNI, Sofia.

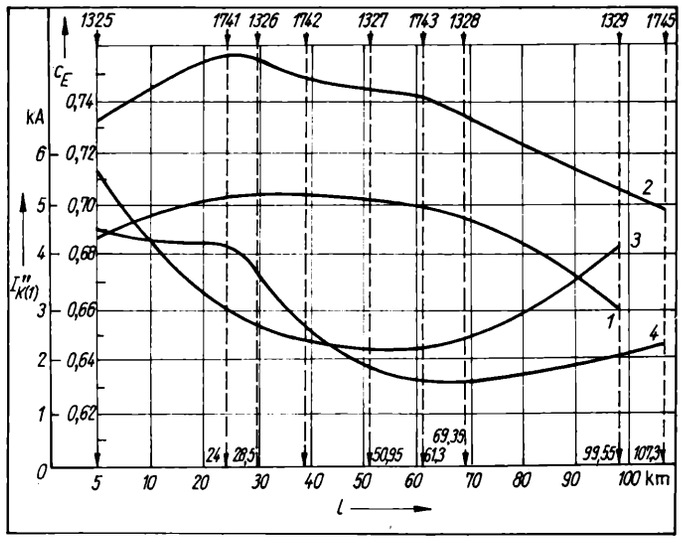


Bild 2. Abhängigkeit der Erdkurzschlußströme $I''_{k(1)}$ und der Erdungszahl C_E bei nicht geerdetem Sternpunkt von der Entfernung l in bestimmten Knotenpunkten eines West- und Ostbezirkes im 110-kV-Netz der VR Bulgarien

1 $C_E = f_1(l)$ für den Westbezirk
2 $C_E = f_2(l)$ für den Ostbezirk
3 $I''_{k(1)} = f_3(l)$ für den Westbezirk
4 $I''_{k(1)} = f_4(l)$ für den Ostbezirk

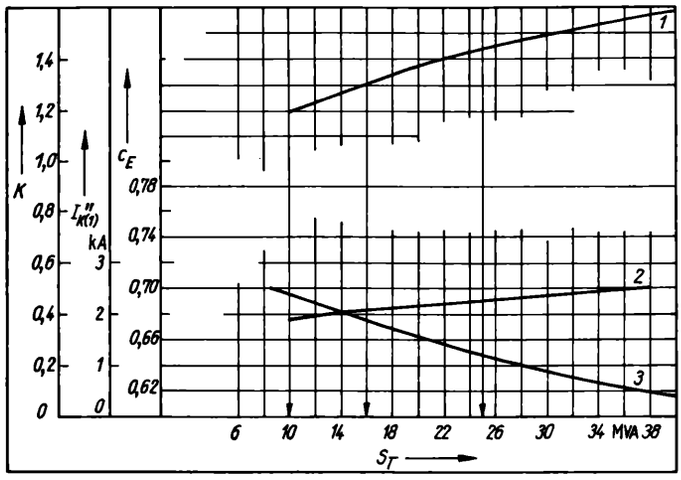


Bild 3. Abhängigkeit der Erdungszahl C_E, der Erdkurzschlußströme $I''_{k(1)}$ und ihrer bezogenen Größe $K\left(K = I''_{k(1),\,E1743} : I''_{k(1)}\right)$ von der Transformatorennennleistung S_T bei dem durch eine Reaktanz geerdeten Sternpunkt 1743 des ins 110-kV-Netz eingeführten Transformators 110-kV/MS

1 $C_E = f_1(S_T)$
2 $I''_{k(1)} = f_2(S_T)$
3 $K = f_3(S_T)$

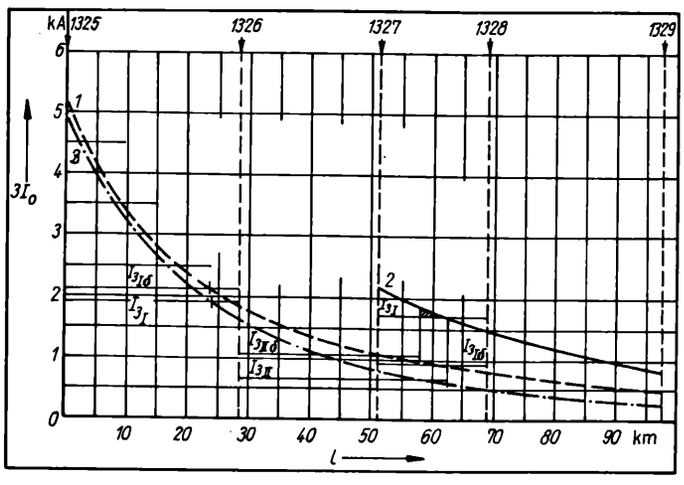


Bild 4. Verteilung des Erdkurzschlußstromes $3I_0$ als Funktion der Entfernung in einem Westbezirk des 110-kV-Netzes der VR Bulgarien

1 $3I_0$ Erdkurzschlußströme ohne Transformatorsternpunkterdung
2,3 $3I_0$ Erdkurzschlußströme mit Transformatorsternpunkterdung im Hochspannungs-Netzknotenpunkt 1327
$I\,3I\delta$ Betriebsstrom erster Stufe ohne Transformator-Sternpunkterdung
I_{3I} Betriebsstrom erster Stufe mit Transformator-Sternpunkterdung im Hochspannungs-Netzknotenpunkt 1327

wieder die Erdkurzschlußströme $I''_{k(1)}$, z. B. durch das Hauptprogramm COMPUT SC, berechnet.

— Für die ausgewählten charakteristischen Hochspannungsnetzknotenpunkte, in denen Transformatoren in Sternpunkten zusammengeführt sind, wird der Betrieb vom Erdkurzschlußstromschutz untersucht.

Im Bild 2 ist der Zusammenhang der Erdungszahl C_E und des Erdkurzschlußstroms $I''_{k(1)}$ von der Entfernung (Reaktanz) in einzelnen Hochspannungs-Netzknotenpunkten gezeigt.

3. Anwendung des Verfahrens im 110-kV-Netz der VR Bulgarien

Die Einführung vom 40 MVA Transformator mit geerdetem Sternpunkt im bestimmten Knotenpunkt des 110-kV-Netzes führt zu einer Abnahme der Erdungszahl (im 110-kV-Westnetzbezirk mit 6 bis 12 % und im 110-kV-Ostbezirk mit 8 bis 17 %) und zu einer Erhöhung des Erdkurzschlußstroms (im 110-kV-Westbezirk mit 16 bis 35 % und im 110-kV-Ostbezirk mit 26 bis 58 %). Mit den nach [2] durchgeführten Berechnungen wurde festgestellt, daß die Erhöhung der Transformatorenleistung S_T bei Einführung des Transformators 110 kV/MS (10, 16, 25, 40 MVA) mit nicht geerdetem Sternpunkt in bestimmten Knotenpunkten (1743) des 110-kV-Netzes der VR Bulgarien zu einer Abnahme der Erdungszahlgröße C_E und zu einem Anstieg des Erdkurzschlußstroms $I''_{k(1)}$ (Bild 3) führen kann. In diesem Fall ist die Durchführung konkreter Untersuchungen unter Hinsicht einer Abschätzung und Analyse des Isolationsniveaus und des Erdkurzschlußstromschutzbetriebs zweckmäßig. Im Bild 4 sind die ersten Stufen $3I_\delta$ und $3I_I$ des untersuchten Erdkurzschlußstrombetriebes mit ($3I_I$) und ohne ($3I_\delta$) Sternpunkterdung im 110-kV-Netzknotenpunkt 1327 gezeigt.

4. Schlußfolgerung

Es wird ein Verfahren zur Absohätzung und Analyse wirksamer Erdung im teilstarren Hochspannungsnetz bei der Sternpunktumstellung vorgeschlagen.

Aus der Sicht des vorgeschlagenen Verfahrens werden die Tendenzen zur Erdkurzschlußstrombegrenzung und Einheitsuntersuchung des Sternpunktisolationsniveaus sowie der Betriebsbedingungen und der Selektivität des Erdkurzschlußstromschutzes gezeigt.

Das Verfahren wird beispielsweise zur Untersuchung des 110-kV-Netzes der VR Bulgarien verwendet.

Literatur

[1] *Osman, Z.; Pundt, H.:* Optimierung der Erdkurzschlußströme in Übertragungsnetzen. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 8, S. 507 – 510

[2] *Boytschev, B.:* Abschätzung des Sternpunktbetriebs im Hochspannungsnetz der VR Bulgarien unter Beachtung der Zunahme von Anzahl der Netzspartransformatoren und Auswahl des Optimalsternpunktbetriebs. F/E-Schlußbericht (in bulgarischer Sprache). Archiv wissenschaftliches Forschungsinstitut für Energetik (DNI), 1986

[3] *Boytschev, B.:* Kurzschlußstromniveau, Analyse und Grundlagen zur Strombegrenzung. 31. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der Technischen Hochschule Ilmenau. Vortragsreihe A1/A2/A3 (1986) 1, S. 11 – 14

[4] *Neklepaev, B. N.:* Probleme der Koordination der Kurzschlußströme in Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin (1978) 6, S. 305 und 306

[5] *Neklepaev, B. N.:* Koordination und Optimierung des Kurzschlußstromniveaus in Elektroenergiesystemen (in russischer Sprache). Moskau: Verlag Energija 1979

EA 5837

Programm zur digitalen Berechnung des zeitlichen Kurzschluß-stromverlaufs in batterie-gespeisten Gleichstromnetzen

K.-D. Weßnigk, KDT; A. Grießbach, KDT; Zittau

Aus Kurzschlußstromversuchen an Batterien des Typs OF 1 und OF 2 wurden vereinfachte Batterieersatzschaltbilder mit den entsprechenden Parametern bestimmt. Für batteriegespeiste Gleichstromnetze wurde ein Rechenprogramm zur Bestimmung des Kurzschlußstromverlaufs bei Kurzschluß im Gleichstromnetz entwickelt. Zusätzliche Speisung durch Gleichrichter und reversiblem Motorgenerator kann näherungsweise bei der Berechnung berücksichtigt werden.

1. Zielstellung

Die Notstromversorgung in Kraftwerken erfolgt durch Gleichstromnetze, die zeitweilig unabhängig von der Drehstrom-Eigenbedarfsversorgung sind. Diese Gleichstromnetze werden im Bereitschaftsparallelbetrieb von

Batterien und Gleichrichtern oder
Batterien und reversiblem Motorgenerator (RMG)

gespeist. Eine sichere Notstromversorgung in Kraftwerken, besonders aber in Kernkraftwerken, erfordert, daß bei einem möglichen Totalspannungsausfall der Eigenbedarfsversorgung die sichere Stromversorgung bis zur Übernahme der Versorgung durch andere Notstromaggregate gewährleistet ist. Eine notwendige Voraussetzung dazu ist die richtige Auslegung der Anlagen einschließlich der Schutzeinrichtungen in Gleichstromnetzen auf der Grundlage der Ergebnisse von Kurzschlußstromberechnungen. In Auswertung von Kurzschlußversuchen wurden Batterieersatzschaltbilder und zugehörige Parameter bestimmt und ein Rechenverfahren zur Lösung des Differentialgleichungssystems entwickelt. Das Programm ermöglicht die Berechnung der charakteristischen Kurzschlußströme aus

a) dem maximalen Kurzschlußstromverlauf, unter den Bedingungen
   — Volladezustand der Batterie ($U' = U_{\ddot{R}S} = 2{,}23$ V/Zelle = Reglersollspannung)
   — kleinste Ersatzwiderstände der Kurzschlußbahn
b) dem minimalen Kurzschlußstromverlauf, unter den Bedingungen
   — Entladezustand ($U' = U_{B\,min} = 0{,}85 \cdot 2$ V/Zelle)
   — größte Ersatzwiderstände der Kurzschlußbahn.

2. Messung des Kurzschlußstroms

2.1. Typischer Verlauf

Der in Kurzschlußversuchen oszillografierte Verlauf der Klemmenspannung $u_K(t)$ und des Stroms $i_K(t)$ ist im Bild 1 dargestellt. Es ist ersichtlich, daß der Strom seinen Maximalwert erst nach kurzer Zeit ($t \approx 0{,}01$ s) erreicht. Diese Eigenschaft entspricht in ihrer Wirkung einer Induktivität innerhalb der Batterie, die jedoch für die Kurzschlußstromberechnung vernachlässigbar ist. Es konnte weiter nachgewiesen werden, daß der Kurzschlußstrom nach $t > 3$ s auf einen quasistationären Wert (Dauerkurzschlußstrom I_k) abgeklungen ist.

2.2. Batterieersatzschaltbild

In [4] und [6] wurde durch Versuche an Zellen der Batterien OF 1 und OF 2 der typische Kurzschlußstromverlauf aufgenommen. Da dieser Verlauf annähernd einer Exponentialfunktion genügt, lag es nahe, die Batterie durch das im Bild 2 dargestellte einfache *RC*-Glied nachzubilden.

Prof. Dr. sc. techn. *Klaus-Dieter Weßnigk* ist ordentlicher Professor; Dipl.-Ing. *Arndt Grießbach* ist Lehrer im Hochschuldienst an der Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung.

Der Verlauf des Kurzschlußstroms ohne Berücksichtigung der Induktivität L_a des äußeren Stromkreises kann mathematisch beschrieben werden durch:

$$i_k(t) = i = \frac{U'\,n}{R_i + R_a}\left(1 + \frac{R_p}{R_\sim + R_a}\,e^{-t/\tau}\right) = I_k + I_1\,e^{-t/\tau} \qquad (1)$$

mit

$$\tau = \frac{C\,R_p\,R_{\sim a}}{R_p + R_{\sim a}},\quad R_{\sim a} = R_\sim + R_a,\quad R_i = R_\sim + R_p. \qquad (2)$$

Nachrechnungen bei Verwendung eines doppelten *RC*-Gliedes führten zu der Erkenntnis, daß die Erhöhung der Genauigkeit unwesentlich ist (kleiner 2 %).
Während in [1] und [2] Gleichungen für die Berechnung des maximalen und minimalen Dauerkurzschlußstromes angegeben werden, kann mit (1) der Kurzschlußstromverlauf berechnet werden.

2.3. Berechnung der Batterieparameter aus dem oszillografierten Kurzschlußstromverlauf

Aus den oszillografierten Kurven für Kurzschlußstrom und Klemmenspannung werden die Batterieparameter wie folgt ermittelt:

1. Berechnung der Parameter

$$R_\sim = \frac{U}{I_k''} - R_a \qquad [\text{aus (1) für } t = 0], \qquad (3)$$

$$R_p = \frac{U}{I_k} - (R_a + R_\sim) \qquad [\text{aus (1) für } t = \infty]. \qquad (4)$$

2. Bestimmung der Zeitkonstanten τ_1
   — Berechnung einer Hilfsgröße $I_c = (I_k'' - I_k)\,0{,}05$
   — Bestimmung von t für $I_k + I_c$ aus dem aufgenommenen Diagramm;
   dafür gilt $\tau_1 = \frac{t}{3}$.

Aus den Versuchsreihen wurden auf eine Zelle bezogene Mittelwerte für R_p', $R_\sim'$ und C' bestimmt. Mit diesen Werten können die Batterieparameter näherungsweise berechnet werden, sofern keine Ergebnisse von Kurzschlußversuchen zur Bestimmung der Parameter vorliegen oder beschaffbar sind.

3. Näherungsweise Berechnung der Kurzschlußströme ohne Berücksichtigung von Induktivitäten

Da es im allgemeinen nicht möglich ist, die Batterieparameter durch Kurzschlußversuche zu bestimmen, werden in Auswertung der Meßergebnisse folgende Bestimmungsgleichungen [1]) angegeben:

[1]) Die Parameter für R_p', $R_\sim'$ und C' für die Batterietypen OF 1 und OF 2 liegen beim Autor vor.

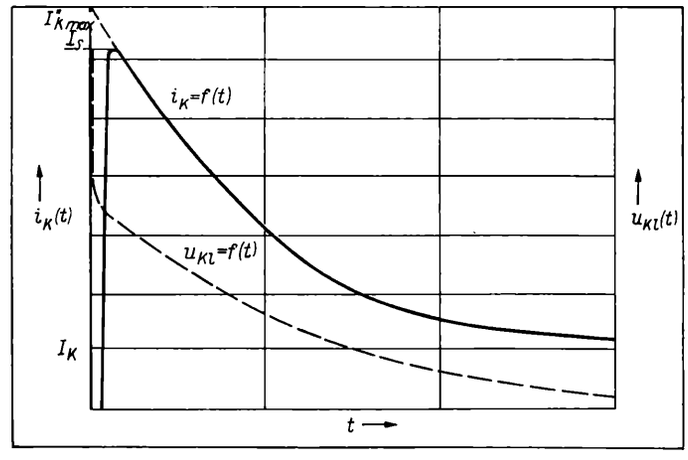


Bild 1
Verlauf der Klemmenspannung u_{kl} und des Stroms i_k beim Kurzschluß

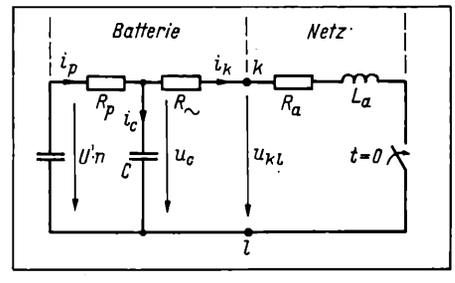


Bild 2
Batterieersatzschaltbild mit Außenwiderstand

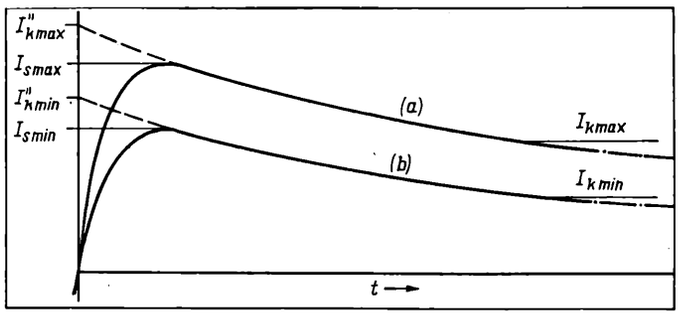


Bild 3. Verlauf des maximalen (a) und minimalen (b) Kurzschlußstroms
——— ohne Berücksichtigung der Batterieentladung
– – – – – ohne Berücksichtigung der Induktivität
– · – · – · – mit Berücksichtigung der Batterieentladung
I_k'' Anfangskurzschlußstrom; I_s Stoßkurzschlußstrom; I_k Dauerkurzschlußstrom

a) für neue Zellen gilt

$$R_\sim = \frac{R'_\sim \, n}{p \, g_R}, \tag{6}$$

$$R_p = \frac{R_p' \, n}{p \, g_R}, \tag{7}$$

$$C = \frac{C_1' \, g_c \, p}{n}. \tag{8}$$

n Anzahl der Zellen
p Anzahl positiver Platten (z. B. $p = 6$ für 6 OF 432)

$g_R = 0{,}7$, $g_c = 0{,}4$ } für OF 1

$g_R = 1$, $g_c = 1$ } für OF 2.

b) für gealterte Zellen (Einsatzzeit > 7 Jahre) gilt

$$R_\sim = \frac{R_\sim' \, n}{p \, g_R} + 0{,}11 \, p, \tag{9}$$

$$R_p = \frac{R_p' \, n}{p \, g_R}, \tag{10}$$

$$C = \frac{C_2' \, g_c \, p}{n}. \tag{11}$$

c) Berechnung charakteristischer Kurzschlußströme

Aus (1) und (2) wird der zeitliche Kurzschlußstromverlauf berechnet. Für $L_a = 0$ und $t = 0$ folgt $\frac{di}{dt} \Rightarrow \infty$, d. h., der Strom springt auf $I_k'' = I_s$.

Mit $t = 0$ ergibt sich aus (1) der maximale Stoßkurzschlußstrom aus

$$I_s = \frac{U_{RS} \, n}{R_\sim + R_a}. \tag{12}$$

Mit $t \Rightarrow \infty$ folgt aus (1) der minimale Dauerkurzschlußstrom

$$I_k = \frac{U'_{B\,min} \, n}{R_p + R_\sim + R_a}. \tag{13}$$

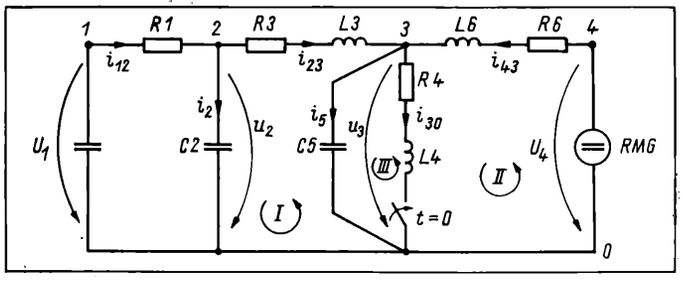


Bild 4. Ersatzschaltbild eines vereinfachten GS-Netzes

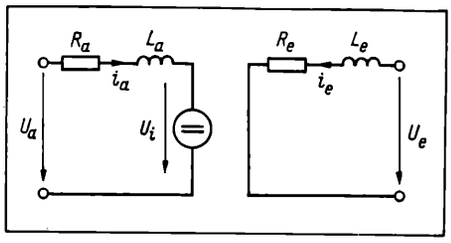


Bild 5
Ersatzschaltbild des RMG

R_a, R_e Anker- bzw. Erregerresistenz; L_a, L_e Anker- bzw. Erregerinduktivität; i_a, i_e Anker- bzw. Erregerstrom; u_i innere Spannung; u_e Erregerspannung; u_a Ankerspannung

4. Berechnung der Kurzschlußströme mit Berücksichtigung der Induktivität L_a des äußeren Stromkreises

Die exakte Berechnung des Kurzschlußstromverlaufs i_k unter Berücksichtigung der äußeren Induktivität L_a nach Bild 2 folgt aus der Lösung der Differentialgleichung 2. Ordnung:

$$U = (R_p + R_{\sim a}) \, i_k + (L + C \, R_p \, R_{\sim a}) \frac{d \, i_k}{dt} + R_p \, C \, L \frac{d^2 \, i_k}{dt} \tag{14}$$

oder aus der Lösung des Differentialgleichungssystems 1. Ordnung:

$$\begin{pmatrix} \frac{d \, u_c}{dt} \\ \frac{d \, i_k}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-1}{C \, R_p} & \frac{-1}{C} \\ \frac{1}{L_a} & \frac{-R_{\sim a}}{L_a} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_c \\ i_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{U}{C \, R_p} \\ 0 \end{pmatrix}. \tag{15}$$

Damit wurden die im Bild 3 dargestellten Verläufe (a) und (b) des Stroms berechnet.

5. Rechenprogramm zur Bestimmung des Kurzschlußstromverlaufs in Gleichstromnetzen

Im Bild 4 ist ein vereinfachtes Netzwerk zur Kurzschlußstromberechnung in einer GS-Anlage dargestellt. Für die Entwicklung eines Rechenprogramms wird das dargestellte Netz durch folgende Ergänzungen verallgemeinert:

a) In jedem Leitungszweig können Induktivitäten enthalten sein.
b) Jeder Zweig zwischen einem Knotenpunkt und Bezugspunkt kann aus einer Kapazität und parallel dazu aus einer Induktivität mit einer Resistanz in Reihe bestehen.
c) Die Speisung des Netzes kann an verschiedenen Netzpunkten durch Batterie und reversiblem Motorgenerator (RMG) oder Batterie und Gleichrichter erfolgen.
d) Vermaschte Netze sind zulässig.

Für das im Bild 4 dargestellte Netz ergibt sich z. B.:

$$\begin{pmatrix} du_2/dt \\ du_3/dt \\ di_{23}/dt \\ di_{43}/dt \\ di_{30}/dt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-1}{R_1 C_2} & 0 & \frac{-1}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{C_5} & \frac{1}{C_5} & \frac{1}{C_5} \\ \frac{1}{L_3} & -\frac{1}{L_3} & \frac{-R_3}{L_3} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_6} & 0 & -\frac{R_6}{L_6} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_4} & 0 & 0 & -\frac{R_4}{L_4} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_2 \\ u_3 \\ i_{23} \\ i_{43} \\ i_{30} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{U_1}{R_1 C_2} \\ 0 \\ 0 \\ \frac{U_4}{L_6} \\ 0 \end{pmatrix}. \tag{16}$$

In dieser Form wird das Gleichungssystem bei Eingabe der indizierten Daten und mit Hilfe des „Runge-Kutta-Verfahrens" gelöst.

6. Anwendungsbereiche des Programms

6.1. Berücksichtigung der Einspeisung durch einen reversiblen Motorgenerator (RMG)

Erfolgt Parallelbetrieb von Batterie und RMG, haben beide Einfluß auf den Verlauf des Kurzschlußstroms. Um den Einfluß des RMG der Kurzschlußberechnung zugängig zu machen, wurde das im Bild 5 dargestellte Ersatzschaltbild zugrunde gelegt (wobei der Einfluß der Charakteristik der Antriebsmaschine auf den Kurzschlußvorgang vernachlässigt wird). Der RMG kann im Programm berücksichtigt werden als

a) RMG mit konstanter Erregung

Bei konstanter Erregung und konstanter Drehzahl ist die innere Spannung u_i ebenfalls konstant, damit hat der Erregerkreis keinen Einfluß auf den Ankerkreis, und für die Nachbildung gilt die Gleichung

$$u_a = u_i + i_a R_a + L_a \frac{d i_a}{d t}, \tag{17}$$

b) RMG mit Stoßerregung

Der Einfluß der Änderung der Erregerspannung auf die Ankerspannungsänderung wird durch die Reglerkennlinie $u_e = f(\Delta u_a)$ berücksichtigt. Der nichtlineare Verlauf zwischen Erregerstrom i_e und innerer Spannung u_i ($u_i = f(i_e)$) kann durch ein Polynom n-ten Grades in die Berechnung einbezogen werden.

6.2. Berücksichtigung der Einspeisung durch Stromrichter

Zur Einbeziehung von Stromrichtern in die Kurzschlußstromberechnung ist eine möglichst exakte Ersatzschaltung des Stromrichters erforderlich. In [3] [7] [8] sind die maßgebenden Ersatzschaltbilder und Gleichungen für die Berechnung der erforderlichen Parameter dargestellt. Die für Klemmkurzschluß bei Stromrichtern in Sechspuls-Brückenschaltung maßgebenden Differentialgleichungen werden im Programm zur näherungsweisen Berücksichtigung des Stromrichtereinflusses auf den Kurzschlußstromverlauf bei gleichzeitiger Batterieeinspeisung verwendet. Dabei wird der Stromrichter durch veränderliche Ventilzweigresistanzen (gegen 0 bzw. gegen ∞) modelliert, um die Netztopologie nicht verändern zu müssen.
Vernachlässigt werden

— die Änderung der Ventilresistanz in Abhängigkeit von der Temperatur
— der durch die Sperrverzögerungszeit kurzzeitig negative Strom
— die durch das Zusammenwirken mit der Batterie auftretende Gegenspannung.

Der drehstromseitige Kurzschlußeintrittswinkel φ_k kann bei der Berechnung berücksichtigt werden.

7. Zusammenfassung

In Kurzschlußversuchen an Batterien wurde ein Batterieersatzschaltbild einschließlich der Parameter zur Nachbildung des zeitlichen Strom-Spannungs-Verhaltens der Batterie bestimmt.
Zur Berechnung des Kurzschlußstromverlaufs in Gleichstromnetzen wurde ein Rechenprogramm entwickelt, mit dem die für die Auslegung der Schutzgeräte erforderlichen maximalen und minimalen Kurzschlußgrößen bestimmt werden können. Das Rechenprogramm ermöglicht die Berücksichtigung der Speisung durch Batterie und Gleichrichter oder RMG sowie der Resistanzen, Induktivitäten und Kapazitäten des gegebenenfalls vermaschten Gleichstromnetzes. Das Programm liegt in FORTRAN für den Rechner EC 1022 für Gleichstromnetze bis etwa 20 Knotenpunkten und in einer abgerüsteten Variante in BASIC für den Z 9001 an der Ingenieurhochschule Zittau vor.

Literatur

[1] *Hammerstein, A.:* Kurzschlußstrom und Überstromschutz in batteriegespeisten industriellen Gleichspannungsanlagen. Elektropraktiker, Berlin (1972) 5, S. 140 bis 142
[2] TGL 190-236/11 Errichtungsvorschriften für Umspannwerke, Schaltwerke und Umformwerke — Gleichstromversorgungsanlagen mit ortsfesten Bleiakkumulatoren. Ausg. Dezember 1983
[3] TGL 200-0604/3 Berechnung von Kurzschlußströmen Stromrichteranlagen und stromrichtergespeisten Gleichstromanlagen. Ausg. Januar 1977
[4] *Kühne, D.:* Untersuchung des Alterungsverhaltens von Akkumulatorenzellen. DA-Nr. 16/84-D/E1, Ingenieurhochschule Zittau 1984
[5] *Laben, H.:* Erarbeitung eines digitalen Rechenprogramms für die Berechnung des maximalen und minimalen Kurzschlußstromes in GS-Netzen. DA-Nr. 1/85-D/E1, Ingenieurhochschule Zittau 1985
[6] *Auricht, G.:* Kurzschlußstromberechnung in Gleichstromnetzen und Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzeinrichtungen. DA-Nr. 2/85-D/E1, Ingenieurhochschule Zittau 1985
[7] *Pfeiler, V.:* Grundlagen einer Modelltheorie zur Berechnung von Stromrichtersystemen. ELEKTRIE, Berlin 24 (1970) 8, S. 273–275
[8] *Strauber, M.; Delinsky, W.:* Zur einheitlichen Berechnung der Strom-Spannungs-Verhältnisse von Stromrichteranlagen in Drehstrombrückenschaltung. ELEKTRIE, Berlin 27 (1973) 6, S. 304–308

EA 5909

Neues Verfahren zur digitalen Drehzahlmessung

U. Beckert; W. Neuber, Freiberg

Mitteilung aus der Bergakademie Freiberg
Wissenschaftsbereich Elektrotechnik

Jede digitale Drehzahlmeßeinrichtung besteht aus einem Impulsgeber mit der Inkrementezahl p, der eine der Drehzahl n proportionale Impulsfrequenz

$$f = p\,n \tag{1}$$

erzeugt, und aus einer Auswerteschaltung zur Messung bzw. Umsetzung der drehzahlproportionalen Impulsfolgefrequenz in ein Signal. Dabei sind grundsätzlich zwei Verfahren, die Frequenzzählmessung und die Periodendauermessung, möglich [1]. Bei der Frequenzzählmessung wird die während einer bestimmten Meßzeit t_M vom Impulsgeber gelieferte Impulsmenge

$$z_1 = \frac{t_M}{T} = t_M\,p\,n, \tag{2}$$

wobei $T = 1/f$ ist, in einen Zähler eingezählt. Die Meßzeit t_M wird dabei üblicherweise durch Frequenzteilung als ganzzahliges Vielfaches k der Periodendauer $T_V = 1/f_V$ der konstanten Vergleichsfrequenz f_V eines Frequenzgenerators gewonnen. z_1 ist somit ein unmittelbares Maß für die Drehzahl. Bei der Periodendauermessung wird umgekehrt während einer Meßzeit, die ein ganzzahliges Vielfaches k der Drehperiode $T = 1/n$ ist, die von einem Vergleichsfrequenzgenerator gelieferte Impulsmenge

$$z_2 = \frac{k \cdot T}{T_V} = \frac{k \cdot f_V}{n} \tag{3}$$

in einen Zähler eingezählt. z_2 ist somit der Drehzahl indirekt proportional. Die Frequenzzählmessung hat den Nachteil, daß im unteren Drehzahlbereich, bedingt durch relativ kleine Zählergebnisse, ein großer Quantisierungsfehler auftritt. Dieser Quantisierungsfehler läßt sich zwar sowohl durch eine Vergrößerung der Meßzeit t_M als auch durch die Benutzung eines Impulsgebers mit hoher Inkrementezahl p verringern. Jedoch führt eine Vergrößerung der Meßzeit zu einer Verminderung der Grenzfrequenz $f_g = 1/t_M$ der digitalen Drehzahlmessung und andererseits bereitet die ordnungsgemäße Ankopplung eines Impulsgebers mit hoher Inkrementezahl, besonders bei betrieblichen Messungen, große Schwierigkeiten. Die Periodendauermessung hat den Nachteil, daß das Zählergebnis der Drehzahl nur indirekt proportional ist und deshalb stets eine Arithmetik-Logik-Einheit zur Bildung des Kehrwertes erforderlich ist. Darüber hinaus tritt im oberen Drehzahlbereich ein großer Quantisierungsfehler auf.
Im folgenden wird ein Verfahren und ein elektronisches Gerät zur digitalen Messung der Drehzahl dargestellt,

— dessen Ausgangssignal direkt der Drehzahl in Umdrehungen je Minute entspricht
— das nur einen einfachen Impulsgeber mit einer Marke erfordert
— das ohne Arithmetik-Logik-Einheit auskommt
— das die Messung der Drehzahl im Bereich von 6 bis 5500 min^{-1} mit einer Genauigkeit von $\pm$ 1 min^{-1} gewährleistet.

1. Grundgedanke des Verfahrens

Das entwickelte Verfahren zur digitalen Messung der Drehzahl ist ein zweischrittiges Meßverfahren (Bild 1).
Im ersten Schritt wird in bekannter Weise die Drehperiodendauer bestimmt, indem während der Zeitdauer zwischen zwei vom Impulsgeber abgegebenen Impulsen eine Folge von Impulsen mit der Frequenz f_{V1} in einen Zähler mit Speicher und Komperator eingezählt und das der Drehzahl indirekt proportionale Zählergebnis

Dr.-Ing. *Ulrich Beckert* und Dr.-Ing. *Wolfram Neuber* sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der Bergakademie Freiberg, Sektion Maschinen- und Energietechnik, Wissenschaftsbereich Elektrotechnik.

gespeichert werden. Die Frequenz f_{v1} wird durch Frequenzteilung aus der von einem Vergleichsfrequenzgenerator erzeugten Vergleichsfrequenz f_v gewonnen:

$$f_{v1} = \frac{f_v}{N}. \tag{4}$$

Für das gespeicherte Zählergebnis gilt somit

$$z_1 = \frac{T}{T_{v1}} = \frac{f_v}{N}\frac{1}{n}. \tag{5}$$

Im zweiten Schritt wird zunächst eine Drehperiodendauer-Frequenzwandlung ausgeführt, indem Impulse der vom Vergleichsfrequenzgenerator abgegebenen Impulsfolge in den gleichen Zähler eingezählt, mit dem digitalen Komparator laufend der momentane Zählerstand $z_1(t)$ mit dem im Speicher abgelegten Wert entsprechend (5) verglichen und bei Gleichheit beider Werte der Zähler zurückgesetzt werden. Die am EQUAL-Ausgang des Komparators abgegebene Impulsfolge hat somit die Frequenz

$$f' = \frac{f_v}{z_1} = N\,n, \tag{6}$$

d.h., die um den Faktor N vervielfachte Drehfrequenz. Anschließend wird die während einer konstanten Meßzeit t_{M2} am EQUAL-Ausgang des Komparators abgegebene Impulsmenge

$$z_2 = t_{M2} f' = t_{M2}\,N\,n \tag{7}$$

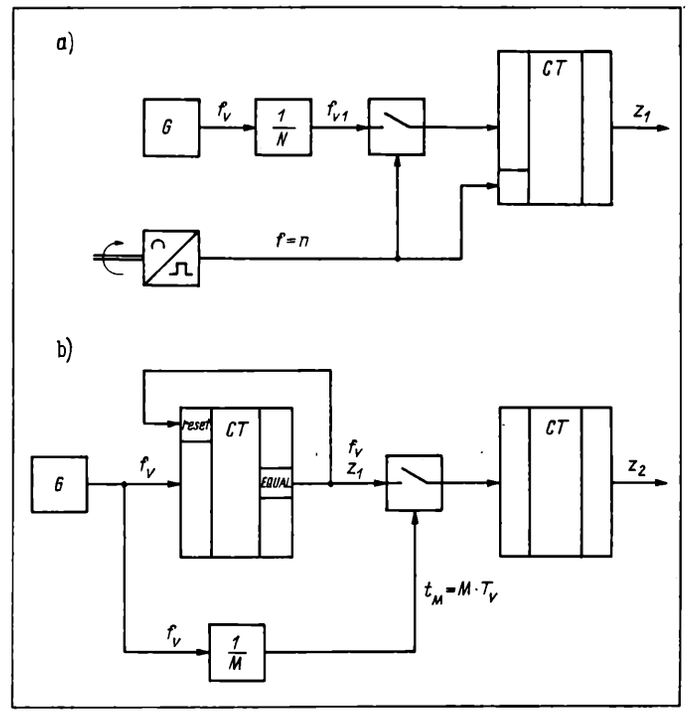


Bild 1. Teilschritte des Meßverfahrens
a) 1. Verfahrensschritt; b) 2. Verfahrensschritt

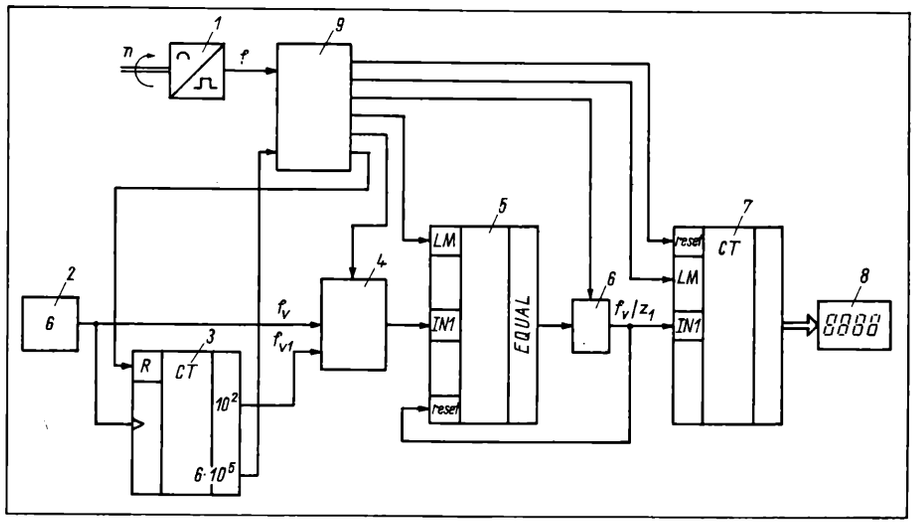


Bild 2. Blockschaltbild der Drehzahlmeßeinrichtung (Grundprinzip)
1 Impulsgeber; 2 Vergleichsfrequenzgenerator; 3 Frequenzteiler; 4 Multiplexer; 5 Zähler mit Speicher und digitalem Komparator; 6 Tor; 7 Zähler mit Speicher; 8 Anzeigeeinheit; 9 Programmschaltwerk

in einen zweiten Zähler eingezählt. Bei geeigneter Wahl von t_{M2} und N, z.B. bei $t_{M2} = 600$ ms und $N = 100$, wie beim ausgeführten Meßgerät, entspricht das Zählergebnis des zweiten Zählers direkt der Drehzahl in Umdrehungen je Minute:

$$z_2 = n/\mathrm{min}^{-1}. \tag{8}$$

Es wird in seinen Speicher übernommen und angezeigt. Die Meßzeit t_{M2} wird, wie bei der Frequenzzählmessung üblich, durch Frequenzteilung aus der vom Vergleichsfrequenzgenerator erzeugten Vergleichsfrequenz f_v gewonnen:

$$t_{M2} = \frac{1}{f_v/M} = M\,T_v \tag{9}$$

$T_v = 1/f_v$ Vergleichsperiodendauer.
Die gesamte Meßzeit t_M zur Ermittlung eines Drehzahlwertes setzt sich somit aus zwei Komponenten, der Drehperiodendauer T und der konstanten Meßzeit t_{M2}, zusammen:

$$t_M = T + t_{M2}. \tag{10}$$

2. Technische Realisierung

Das Blockschaltbild der digitalen Drehzahlmeßeinrichtung, die das beschriebene zweischrittige Verfahren verwirklicht, zeigt Bild 2. Mit dem Impulsgeber (1) wird von der rotierenden Welle eine Impulsfolge mit der Frequenz $f = n$ abgeleitet. Mit dem am Vergleichsfrequenzgenerator (2) angeschlossenen Frequenzteiler (3) werden sowohl die im ersten Schritt benötigte Vergleichsfrequenz $f_{v1} = f_v/N$ als auch die im zweiten Schritt verwendete Meßzeit $t_{M2} = M\,T_v$ aus der Vergleichsfrequenz f_v abgeleitet. Der vom Programmschaltwerk (9) gesteuerte Multiplexer (4) schaltet im ersten Verfahrensschritt die am ersten Ausgang des Frequenzteilers abgegebene Impulsfolge mit der geteilten Vergleichsfrequenz $f_{v1} = f_v/N$ und im zweiten Verfahrensschritt die vom Frequenzgenerator abgegebene Impulsfolge mit der Vergleichsfrequenz f_v an den Zähleingang (IN1) des ersten Zählers (5) mit Speicher und digitalem Komparator.
Das am EQUAL-Ausgang des Komparators angeschlossene und vom Programmschaltwerk gesteuerte Tor (6) ist im ersten Verfahrensschritt geöffnet und schaltet im zweiten die am EQUAL-Ausgang abgegebene Impulsfolge an den Rücksetz-Eingang des ersten Zählers und an den Zähleingang des zweiten Zählers (7). Die Übernahme des momentanen Zählerstandes in den Speicher (über den Eingang LM) sowohl des ersten als auch des zweiten Zählers, das Rücksetzen des zweiten Zählers und das Rücksetzen des Frequenzteilers werden vom Programmschaltwerk gesteuert. Das Programmschaltwerk (9), das im wesentlichen aus einem dekadischen Johnsen-Zähler mit decodierten Ausgängen besteht, wird zustandsabhängig vom Impulsgeber und vom Frequenzteiler fortgeschaltet.

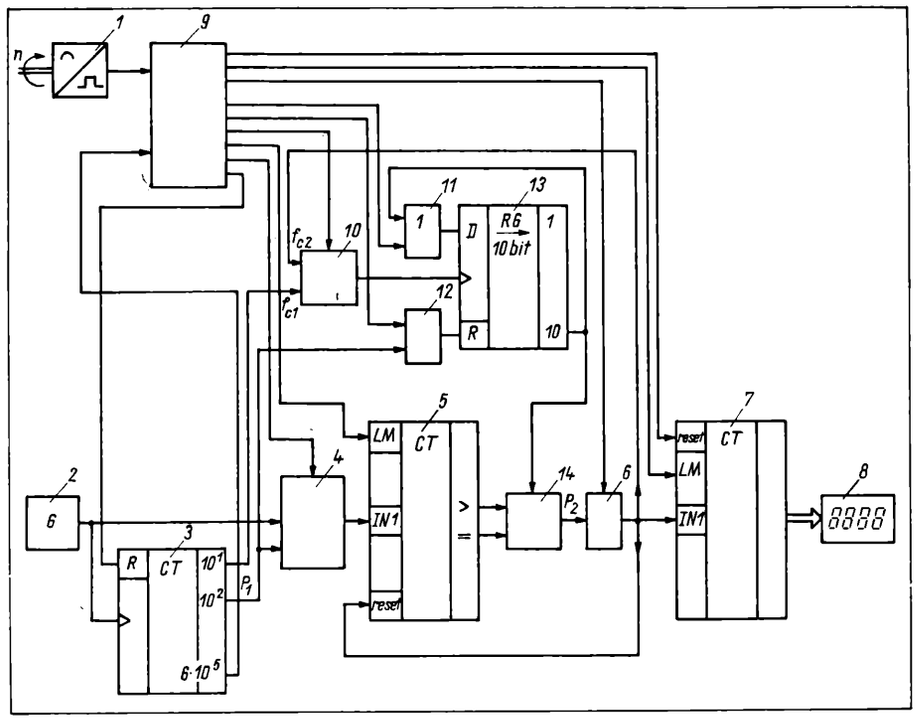


Bild 3. Blockschaltbild der Drehzahlmeßeinrichtung mit verringertem Quantisierungsfehler
10, 14 Multiplexer; 11 OR-Glied; 12 Tor; 13 Schieberegister

3. Verringerung des Quantisierungsfehlers

Das beschriebene Meßverfahren bzw. die Meßeinrichtung hat noch den Nachteil, daß es/sie im oberen Drehzahlbereich, bedingt durch die hier kleinen Zählergebnisse z_1, einen relativ großen Quantisierungsfehler hat. Dieser Quantisierungsfehler kann prinzipiell durch eine Vergrößerung der Vergleichsfrequenz f_v vermindert werden. Praktisch läßt sich dieser Weg jedoch nicht beschreiten, weil der zur Verfügung stehende Zählerschaltkreis (U 125) im zweiten Schritt schon an seiner Grenzfrequenz betrieben werden muß.
Im folgenden wird eine Verfeinerung des Drehzahlmeßverfahrens entwickelt, die bei gleicher Vergleichsfrequenz eine erhebliche Verringerung des Quantisierungsfehlers bringt. Dazu wird die Grundanordnung entsprechend Bild 2 um eine aus einem Multiplexer (10), einem OR-Glied (11), einem Tor (12) und einem Schieberegister (13) bestehende digitale Schaltung sowie um einen dritten Multiplexer (14) erweitert (Bild 3).
Mit der erweiterten Drehzahlmeßeinrichtung wird im ersten Verfahrensschritt die Drehperiodendauer $T = 1/n$ genauer bestimmt. Das wird dadurch erreicht, daß während der Zeitdauer zwischen zwei vom Impulsgeber abgegebenen Impulsen

— (wie schon bei der Grundanordnung) Impulse der Folge P_1 mit der geteilten Vergleichsfrequenz $f_{v1} = f_v/N$ in den ersten Zähler eingezählt und das Zählergebnis z_1 gespeichert werden
— außerdem H-Signal mit der Taktfrequenz

$$f_{c1} = m f_{v1} \tag{11}$$

in das m-stufige Schieberegister eingeschrieben und das Schieberegister periodisch durch die Impulse der Impulsfolge p_1 zurückgesetzt werden.

Die Taktfrequenz f_{c1} wird dabei ebenfalls durch Frequenzteilung aus der Vergleichsfrequenz f_v abgeleitet:

$$f_{c1} = \frac{f_v}{N_1} \tag{12}$$

wobei

$$m N_1 = N$$

gilt.
Nach Ausführung des ersten Schrittes entspricht das Zählergebnis z_1 dem ganzen Teil des Verhältnisses T/T_{v1} und die Anzahl k der H-Signal enthaltenden Stufen, bezogen auf die Stufenzahl m des Schieberegisters, entspricht dem gebrochenen Teil des Verhältnisses T/T_{v1}:

$$z_1 = \text{Int}\left[\frac{T}{T_{v1}}\right] \tag{13}$$

$$\frac{k}{m} = \text{Frac}\left[\frac{T}{T_{v1}}\right] \tag{14}$$

T Drehperiodendauer
$T_{v1} = 1/f_{v1}$ Periodendauer der Impulsfolge P_1

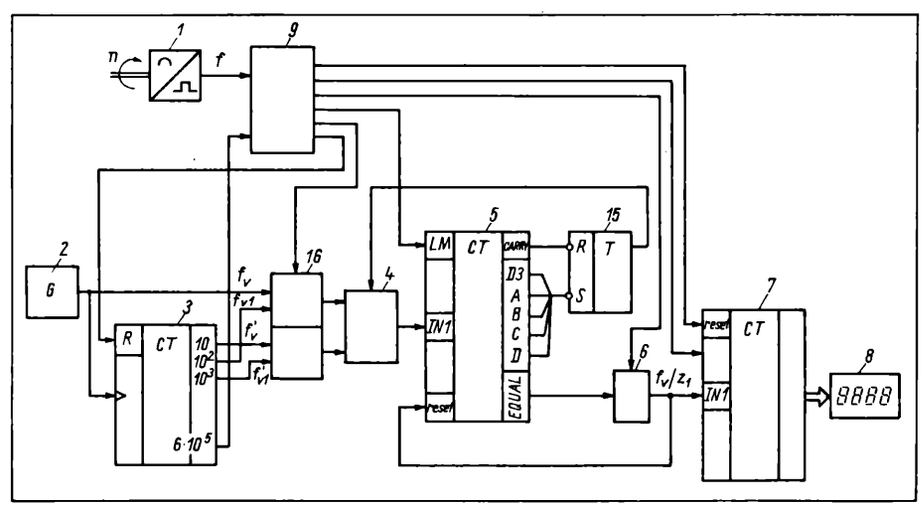


Bild 4. Blockschaltbild der Drehzahlmeßeinrichtung mit Umschaltung der Vergleichsfrequenz
15 RS-Flipflop; 16 Multiplexer

Im zweiten Verfahrensschritt arbeitet das Schieberegister als Umlaufspeicher, d. h., die im Ergebnis des ersten Schrittes gespeicherte Information läuft im Schieberegister um. Im zweiten Schritt wird zunächst eine Drehperiodendauer-Frequenzwandlung ausgeführt. Dazu werden (wie schon bei der Grundanordnung) Impulse der vom Vergleichsfrequenzgenerator abgegebenen Impulsfolge in den ersten Zähler eingezählt und mit dem digitalen Komperator laufend der momentane Zählerstand $z_1(t)$ mit dem im Speicher abgelegten Wert entsprechend (13) verglichen. Abhängig davon, ob am Ausgang des Schieberegisters H- oder L-Signal liegt, wird der Zähler zurückgesetzt, wenn der digitale Komperator „Größer als" oder „Ist gleich" feststellt.
Für die Impulsperiode der am Ausgang des dritten Multiplexers, der an den Ausgängen des Komperators angeschlossen ist, abgegebenen Impulsfolge P_2 gilt deshalb:

$$T_2 = \begin{cases} (z_1 + 1)\, T_v & \text{bei H-Signal} \\ z_1\, T_v & \text{bei L-Signal} \end{cases} \quad \text{am Ausgang des Schieberegisters.} \tag{15}$$

Für den zeitlichen Mittelwert der Impulsperiode T_2 gilt:

$$\overline{T}_2 = \frac{1}{m}\left[k\,(z_1 + 1)\, T_v + (m - k)\, z_1\, T_v\right]$$

$$\overline{T}_2 = \left(z_1 + \frac{k}{m}\right) T_v. \tag{16}$$

Für den zeitlichen Mittelwert der Frequenz f_2 der Impulsfolge P_2 gilt somit:

$$\overline{f}_2 = \frac{f_v}{z_1 + \dfrac{k}{m}} = M\, n. \tag{17}$$

Die Impulsfolge P_2 wird während des zweiten Schrittes auch als Schiebetakt für das Schieberegister benutzt:

$$f_{c2} = f_2\,(t). \tag{18}$$

Anschließend werden (wie bei der Grundanordnung) während der konstanten Meßzeit t_{M2} Impulse dieser Impulsfolge P_2 in den zweiten Zähler eingezählt.
Bei der verfeinerten Variante ist der Quantisierungsfehler näherungsweise um einen der Stufenzahl m des Schieberegisters entsprechenden Faktor kleiner als bei der Grundanordnung des Meßverfahrens. Im ausgeführten Meßgerät hat das Schieberegister die Stufenzahl $m = 50$. Dadurch kann die Drehzahl bis zu 5500 min^{-1} mit einer Genauigkeit von $\pm$ 1 min^{-1} gemessen werden.

4. Erweiterung des Drehzahlmeßbereiches

Die beschriebene Drehzahlmeßeinrichtung hat noch den Nachteil, daß bei Benutzung nur einer Vergleichsfrequenz f_v der Drehzahlmeßbereich zu kleinen Drehzahlen hin durch den Zählumfang des ersten Zählers (5) begrenzt ist. Zum Beispiel beträgt bei der Vergleichsfrequenz $f_v = 1$ MHz und bei Benutzung des vierstelligen Dekadischen Zählers U 125 die kleinste meßbare Drehzahl $n = 60$ min^{-1}. (Bei $f_v = 1$ MHz und $N = 100$, d. h. bei $f_{v1} = 10$ kHz, überschreitet bei $n = 60$ min^{-1} das Zählergebnis z_1 im ersten Schritt den Zählumfang des Zählers von $z_{imax} = 9999$).
Der Drehzahlmeßbereich läßt sich zu kleinen Drehzahlen hin dadurch erweitern, daß nicht mit einer festen Vergleichsfrequenz gearbeitet wird, sondern die Vergleichsfrequenz automatisch so gewählt wird, daß das Zählergebnis z_1 möglichst groß, aber kleiner als der Zählumfang des Zählers wird. Eine entsprechende Weiterentwicklung der Drehzahlmeßeinrichtung zeigt Bild 4. Der Algorithmus besteht darin, daß zunächst versucht wird, die Drehperiodendauer T unter Benutzung der Vergleichsfrequenz $f_{v1} = 10$ kHz zu ermitteln.
Ist die Drehzahl $n > 60$ min^{-1}, d. h. $T < 1$/s, so ist das Zählergebnis $z_1 < 9999$, und es schließt sich die Drehperioden-Frequenzwandlung unter Benutzung der Vergleichsfrequenz $f_v = 1$ MHz an.
Ist die Drehzahl $n \leqq 60$ min^{-1}, d. h. $T \geqq 1$ s, so überschreitet das Zählergebnis z_1 den Zählumfang des Zählers ($\overline{CARRY}$ = L) und der erste Schritt, die Ermittlung der Drehperiodendauer T, wird mit einer um den Faktor 10 verminderten Vergleichsfrequenz $f_{v1}' = 1$ kHz wiederholt. Anschließend wird die Drehperiodendauer-Frequenzwandlung ebenfalls unter Benutzung einer um den Faktor 10 verminderten Vergleichsfrequenz $f_v' = 100$ kHz ausgeführt.

5. Zusammenfassung

Es wird ein zweischrittiges digitales Drehzahlmeßverfahren und ein darauf aufbauendes Drehzahlmeßgerät beschrieben. Das entwickelte Meßgerät ermöglicht die Messung der Drehzahl im Bereich von 6 bis 5500 min^{-1} mit einer Genauigkeit von $\pm$ 1 min^{-1}. Es erfordert nur einen einfachen Impulsgeber mit einer Marke, benötigt eine im Vergleich zur Frequenzzählmessung viel kürzere Meßzeit und kommt dabei ohne Arithmetik-Logik-Einheit aus. Darüber hinaus enthält das entwickelte Meßgerät noch eine eigensichere Schutzeinrichtung, die einen Gleichstrommotor vor unzulässig hohen Drehzahlen, wie sie z. B. beim Ausfall der Erregung im Leerlauf auftreten, schützt.
Sowohl das Grundprinzip als auch seine Verfeinerung mit verringertem Quantisierungsfehler wurden zum Patent angemeldet [2] [3]. In modifizierter Form hat das entwickelte Meßverfahren noch weitere Anwendungsmöglichkeiten in der Meßtechnik, z. B. [4].

Literatur

[1] *Schönfeld, R.; Habiger, E.:* Automatisierte Elektroantriebe. Berlin: VEB Verlag Technik 1981
[2] DD; 268 782 A1; Int. Cl.: G01 P. Elektronische Einrichtung zur digitalen Messung der Drehzahl. *U. Beckert, W. Neuber,* (22. 2. 88)
[3] DD; WP 315 1811; Int. Cl.: G01 P. Digitale Drehzahlmeßeinrichtung. *U. Bekkert, W. Neuber,* (24. 4. 88)
[4] DD; 271 171 A1; Int. Cl.: G01 F. Verfahren und Einrichtung zur digitalen Messung des momentanen auf die Fahrstrecke bezogenen Kraftstoffverbrauches. *U. Beckert; W. Neuber,* (29. 3. 88)

EA 5948

Neue Elektromotorengeneration ist wärmebeständiger und langlebiger

In jedem Haushalt sind heute 30 bis 40 Elektromotoren im Einsatz, in großen Betrieben arbeiten bis zu 40000 solcher Antriebe. Der VEB Elektromotoren Wernigerode, bekannter Produzent von Drehstrom-Niederspannungsasynchronmotoren im Leistungsbereich von 5,5 bis 200 kW, kann bei seinen Erzeugnissen seit vielen Jahren auf ein Masse-Leistungs-Verhältnis von internationalem Spitzenniveau verweisen. Nachdem in diesen Parametern das Optimum erreicht worden ist, richtet sich die Weiterentwicklung der Elektromotoren auf die weitere Verbesserung der Wärmebeständigkeit und des Schutzgrades. Dadurch sollen eine längere Lebenszeit, geräuschärmerer Lauf und erweiterte Einsatzmöglichkeiten erreicht werden.
Zur Zeit wird in mehreren Phasen bis Anfang 1990 das gesamte Wernigeroder Motorensortiment erneuert. Die mittlerweile vierte Generation ist durch eine hohe Wärmebeständigkeit und den Schutzgrad IP 54 charakterisiert, das heißt, daß diese Motoren auch unter extremeren Betriebsbedingungen zuverlässig arbeiten. In Verbindung mit einem geräuscharmen Belüftungssystem erhöht sich der Wirkungsgrad weiter. Voraussetzung für die größere Wärmebeständigkeit ist ein verändertes Isolationssystem für die bewickelten Ständerblechpakete der Motoren unter Verwendung eines neuen Polyester-Tränkharzes vom VEB Kali-Chemie Berlin. Das setzt eine völlig andere Technologie voraus. Die mikrorechnergesteuerte Anlage für dieses Verfahren haben die Wernigeroder gemeinsam mit dem VEB Infrarotanlagen Oranienburg entwickelt und produziert. Gegenüber dem zuvor üblichen Isolationssystem verdoppelt sich nun die Lebensdauer der Wicklungen auf 40000 Betriebsstunden. Die neue Motorengeneration ist automatisierungsfreudig. Das entspricht der international zunehmend gestellten Forderung, optimale Antriebslösungen für den konkreten Einsatzfall zur Verfügung zu stellen, um die Prozeßautomatisierung voranzutreiben. Das Baukastensystem für die Wernigeroder Motoren ermöglicht es, eine Vielzahl solcher elektrischen und baulichen Varianten abzuleiten. Die Kopplung mit einem Transistor-Frequenzumrichter ermöglicht eine stufenlose Drehzahlregelung am kostengünstigen, robusten und wartungsarmen Drehstrommotor.

(ADN/El)

FACHTAGUNGEN

XI. Verbundnetz – Kolloquium

Am 6. und 7. Dezember 1988 führte die Betriebssektion der KDT des VE Kombinates Verbundnetze Energie das XI. Verbundnetz-Kolloquium durch. Der Stammbetrieb VEB Verbundnetz Elektroenergie konnte im Jahre 1988 auf ein 25jähriges erfolgreiches Bestehen zurückblicken, und fast ebenso lang ist die Tradition der Veranstaltungsreihe der Verbundnetzkolloquien. Diesmal waren der Einladung 280 Teilnehmer aus 70 Betrieben und Institutionen wiederum in den großen Saal des Museums für Deutsche Geschichte Berlin gefolgt.
In seiner Begrüßung und Einleitung umriß der amtierende Vorsitzende der KDT-Betriebssektion, Dr. *F. Berger*, Zielstellung und Inhalt der Veranstaltung, wobei er, u.a. auch in Auswertung des 9. Kongresses der KDT, vor allem auf die hohe gesellschaftliche und persönliche Verantwortung des Ingenieurs einging und diese an den Aufgaben für die Errichtung und den Betrieb des Elektroenergieübertragungsnetzes erläuterte.
Im ersten Teil der Veranstaltung wurden zwei Übersichtsvorträge gehalten:

H. Knaack; Generaldirektor des VE Kombinates Verbundnetze Energie (KVE)

Der Beitrag des VE Kombinates Verbundnetze Energie zur Erhöhung der Versorgungsstabilität des Elektroenergienetzes

Die 25jährige progressive Entwicklung einer stabilen Elektroenergieübertragung ist das Produkt der gemeinsamen Arbeit aller Werktätigen, wobei die Mitglieder der KDT-Betriebssektion einen hervorragenden Anteil haben. Die Entwicklung ist heute gekennzeichnet durch

— ein gut vermaschtes 380- und 220-kV-Netz mit sieben zentralen Umspannwerken (380/220 kV) und vier 380/110-kV-Umspannwerken, fünf Schaltanlagen zur Leistungsabführung von Kraftwerken sowie 36 220/110-kV-Umspannwerken
— eine Transformatorenkapazität von über 35 GVA
— eine Gesamtsystemlänge (380 und 220 kV) von über 10000 km und
— eine Verfügbarkeit von etwa 99 %.

Der Grundfondbestand wuchs auf über 7 Milliarden Mark und damit auf etwa 3,4 Millionen Mark je Beschäftigten. Die für die weitere Entwicklung der Elektroenergieübertragung notwendigen technischen und ökonomischen Aufgaben und Forderungen wurden abgeleitet.

H. Pundt, TU Dresden

Entwicklung der Drehstromübertragung unter besonderer Berücksichtigung der Probleme der Beeinflussung

Durch den interessanten historischen Rückblick wurde deutlich, daß bereits 1887 durch den Elektrotechnischen Verein ein Ausschuß zum Studium der Beeinflussungsfragen seine Arbeit aufnahm. Die permanente Erarbeitung von Vorschriften führte in der DDR zur TGL 200-0605. Nach einer zusammenfassenden Nennung der Grundlagen — insbesondere bezüglich der Beeinflußung von Fernmeldeanlagen — wurde auf die Spezifika der Spannungsebenen 110 kV, 220 kV, 380 kV und 750 kV eingegangen, wobei besonders die Fragen der Sternpunktbehandlung und der Kurzschlußstromentwicklung erörtert wurden. Im 380/220-kV-Netz werden bei dreipoligen Kurzschlußströmen unter 55 kA und teilstarrer Sternpunkterdung Erdfehlerfaktoren zwischen 1,3 und 1,4 erreicht, was Erdkurzschlußströme von 30 bis maximal 40 kA bedeutet. Damit wird eine Eskalation der beherrschbaren Beeinflussungsprobleme vermieden.
Im weiteren wurden 13 Vorträge gehalten, zu denen in Komplexen diskutiert wurde. Nachfolgend wird kurz auf angesprochene Inhalte eingegangen.

I. Erlich; E. Kosse; M. Mueller, TU Dresden, KVE-IEV/KVE

Einsatz von Personalcomputern zur Berechnung der transienten Stabilität von Elektroenergiesystemen

Es wurde das Programm NEDYN zur Stimulation der Netzdynamik im Frequenzbereich von 0,1 bis 10 Hz in Elektroenergiesystemen vorgestellt. Es ermöglicht, Systeme bis zu 240 Knotenpunkten, 400 Leitungen und 50 Generatoren nachzubilden. Als Ursache für Ausgleichsvorgänge können dreipolige Kurzschlüsse, Leitungsschaltungen, Lastschaltungen, Erregersollwertsprünge und Erregerausfälle bei Generatoren gleichzeitig oder in beliebiger Folge simuliert werden. Grundprinzip, erste Berechnungen und die Netzdatenaufbereitung (BERELT-Datenkonzept) wurden erläutert.

M. Feydt, KVE-IEV

Fortschrittsbericht zur Erdung in Hochspannungsaußenanlagen

Der Referent, Vorsitzender des FUA 1.15 „Erdung in elektrotechnischen Anlagen", ging schwerpunktmäßig auf Fortschritte bei der Klärung der Erdungsverhältnisse in Umspannwerken des Übertragungsnetzes und bei der Festlegung zulässiger Berührungsspannungen ein, die auch in die ab 1/89 verbindlichen Standards TGL 200-0603/02 und TGL 200-0603/03 eingegangen sind. Interessant die zusammengefaßten Darstellungen von Meßwerten der Erdungsimpedanzen und der Berührungsspannungen über einen Zeitraum von mehr als zwanzig Jahren, ihre statistischen Auswertungen und daraus abgeleitete Folgerungen.

F. Reincke; K. Greisert, KVE

Neue Erkenntnisse zum Blitzüberspannungsschutz

Mit Hilfe des 16-bit-PC-Programmkomplexes BLITZ zur einpoligen Blitzüberspannungsberechnung wurden auf der Grundlage einer zuverlässigkeitsorientierten Modellvorstellung die Parameter zur Bemessung von Freileitungsschutzstrecken vor Umspannwerken und Schaltanlagen für 380 und 220 kV kritisch bewertet und z.T. quantitativ neu gefaßt. Dabei ergeben sich Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich einer reduzierten Länge und erleichterter Anforderungen an die Impulserdungsimpedanzen der 380-kV-Maste. Die Ergebnisse werden in die Standards TGL 200-0614 und TGL 200-0615 eingehen.

H. Müller; H. Pietzsch, KVE/KVE-IEV

Der Schaltversagerschutz in den Anlagen des Übertragungsnetzes unter besonderer Berücksichtigung der Kraftwerkseinspeisungen

Der Schaltversagerschutz ist ein Teil des Reserveschutzes; am Maschinenabzweig hat er eine erweiterte Funktion. Bei jeder Ansteuerung eines Leistungsschalters im Maschinenabzweig ist eine sichere Netztrennung herbeizuführen. Die Untersuchungen bieten eine Grundlage zur Auswahl und zur Einsatzentscheidung. Dabei ist eine Dopplung des Schaltversagerschutzes einzubeziehen. Bei Abzweigen ohne Generatorleistungsschalter und bei Kernkraftwerken ist diese Dopplung auch im Sammelschienenraum sinnvoll. Auf das Prinzip der Unabhängigkeit der Systeme und die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen an die einzusetzenden Leistungsschalter sowie Schutz- und Steuerelemente wurde ausdrücklich hingewiesen.

H. Groeber; U. Moebius, KVE-Energiebau

Kranflugtechnologien im Hochspannungsfreileitungsbau

(Vortrag wurde nicht gehalten)

Obwohl die Kosten für den Hubschraubereinsatz hoch sind, führt ihr Einsatz im Freileitungsbau zu wirtschaftlichen Montagen bei erheblicher Bauzeitverkürzung. Nach Nennung der Hubschraubertypen und der Einsatzvoraussetzungen (Arbeitsflugplätze, Lastaufnahmeplätze, Wetter, Sicht sowie Lösch- und Sanitätswagen) erfolgte eine Kurzbeschreibung der wesentlichen Verfahren zum Stellen und Stocken von Stahlgittermasten sowie für den Seilzug und auch für die Mastdemontage. Insbesondere wurde auf die Vorteile des Hubschraubereinsatzes eingegangen.

G. Albrecht; K.-H. Friebel; D. Weidauer, KVE-IEV/KVE

Umspannwerksmodernisierung — Strategie und Erstanwendungen

Bis zum Jahre 1990 erreichen 13 Umspannwerke des Übertragungsnetzes ein Alter von 30 Jahren oder mehr. Die vom KVE erarbeitete und bestätigte Modernisierungsstrategie wurde in Grundzügen vorgestellt. Ausgehend von einer Anlagenanalyse und ein zur Zustandserkennung erarbeitetes Verfahren wird unter Berücksichtigung der perspektivischen netztechnischen Anforderungen und weiterer technischer Aspekte ein weitgehend objektiver Algorithmus zur Ableitung einer Rang- und Reihenfolge im Umfang differenzierter Modernisierungen vorgestellt. Auf Erfahrungen (UW Pasewalk) und den Arbeitsstand zu weiteren Anlagen unter Beachtung spezifischer Gesichtspunkte wie SF_6-Technik, Fremdschichtbelastungen, veränderte Bauweisen, Schutz- und Steuerungstechnik wurde eingegangen.

H. Bernhard; R. Lawrenz; H. Kromat, KVE/KVE-IEV/TRO

Thermische Auslastbarkeit von Großtransformatoren

Ausgehend von den Empfehlungen der IEC und der überarbeiteten TGL 190-167/03/05 wurden die neuen Begriffsbestimmungen, die Grenzwertfestlegungen der verschiedenen Betriebsarten und das vereinfachte thermische Modell der IEC vorgestellt. Die Parameter dieses Modells können durch

Temperaturmessungen während des Betriebes ermittelt werden. Ergebnisse derartiger Messungen aus dem ZUW Röhrsdorf an 220/380-kV-Netztransformatoren wurden mitgeteilt und die nach IEC-Empfehlungen möglichen Auslastbarkeiten für TRO-Transformatoren unter Beachtung der vom Hersteller gesetzten Grenzen dargestellt. Ihre Nutzung ist bei der Netzplanung und der Beherrschung des einfachen Störungsfalles vorgesehen. Eine Transformatorenüberwachung mit MR-System zur Überwachung elektrischer thermischer und in Perspektive gaschromatischer Größen wird empfohlen.

H. Boehme; F. Golletz. TU Dresden

Mechanische Belastung und Beanspruchung von 110-kV-Stützern bei Kurzschluß

Die mechanische Beanspruchung von 110-kV-Stützern im Kurzschlußfall ist von der elektrodynamischen Belastung und von den mechanisch-dynamischen Eigenschaften des Systems „Seil-Stützpunkt" abhängig. Es wurden Ergebnisse experimenteller Untersuchungen an 110-kV-Stützern mit Seilbelegung ($1 \times$ Al/St 240/40, $l = 3$ m, $I = 34$ kA) zur Bestimmung der Abhängigkeit der Stützerbeanspruchung von Parametern der Belastung und des mechanischen Systems vorgestellt. Soll die Beanspruchung vermindert werden, muß der Kurzschlußstrom oder die Kurzschlußdauer unter 50 ms verringert werden.

K. Wolf; L. Pscherer, KVE-Energiebau/KVE

Untersuchungen zur Zustandsbewertung von Sekundärkabeln

Die Bewertung des Zustandes der Betriebsmittel zu beliebigen Zeitpunkten ist zur Betriebsführung und für Investitionsentscheidungen von großem Interesse. Am Beispiel betriebsbeanspruchter Sekundärkabel wurde eine Meßmethode zur Zustandsbewertung vorgestellt. Als Bewertungskriterium dient hierbei die Zeit die zum Abbau der durch eine im Verhältnis zur Betriebsspannung hohen Prüfspannung aufgebauten Raumladung in der Kabelisolierung erforderlich ist. Die Methode soll zum Beispiel bei Rekonstruktionen eine objektiv begründete Entscheidung über Weiterbetrieb, Wiederverwendung an anderer Stelle oder Verschrottung der bis zum Rekonstruktionszeitpunkt eingesetzten Sekundärkabel ermöglichen.

P. Helbing, KVE

Bürocomputer in Umspannwerken für Aufgaben ohne Prozeßkopplung

Ausgehend von den nach Art und Umfang vielfältigen Aufgaben und Anforderungen bei Betrieb und Instandhaltung von Umspannwerken wurde über den BC-Einsatz für die Komplexe „Betriebsführung in Schaltwarten" und „Instandhaltungsprozeß zentraler Umspannwerke" berichtet. Bereits vorhandene Software im Komplex „Betriebsführung in Schaltwarten" ermöglicht u.a. den Ersatz des Betriebstagebuches und die Testung aktueller Schaltfolgen auf Zuverlässigkeit. Die Erfahrungen bei der Programmerarbeitung unter unmittelbarer Einbeziehung von Umspannwerkspersonal sind gut. Ziele und Möglichkeiten der weiteren Bearbeitung wurden dargelegt.

V. Wenzel; U. Artmann, KVE-IEV/KVE

Weiterentwicklung der automatischen Stördatenerfassung durch Einsatz der URSADAT 5000

In den Umspannwerken des Verbundnetzes sind elektronische Datenerfassungsanlagen mit 512 Meldungseingängen eingesetzt. An einigen dieser Anlagen sind Mikrorechner des Typs URSADAT 5000 angeschlossen, die eine Klartextausgabe über Bildschirm und eine Fernübertragung der Meldungen ermöglichen. Die Weiterentwicklung erfolgt als Zweirechnersystem. Mit einem Erfassungsrechner URSADAT 5000, neu entwickelten Digitaleingabe-Baugruppen und einem Bedienrechner AC 7150 werden die Erfassung von maximal 1920 Meldungen, die Bildschirmausgabe der Informationen, der Protokolldruck und die Fernübertragung unter Verwendung entsprechender Ausgabeeinheiten realisiert.

J. Hauschild; K.-H. Warkentin, KVE

Induzierte Spannungen und Ströme im TFE-Seil sowie über TFE-Funkenstrecken

Seit mehr als 15 Jahren wird in der DDR die Informationsübertragung mit „Trägerfrequenz über Erdseile von Hochspannungsfreileitungen (TFE)" angewandt. Die sichere Betriebsführung des Hochspannungsnetzes und die zuverlässige Informationsübertragung erfordern die Kenntnis der induzierten Spannungen und Ströme im TFE-Seil sowie über TFE-Funkenstrecken sowohl bei normalen bzw. störungsfreiem Betrieb als auch nach Zündung von TFE-Funkenstrecken.

Der Beitrag stellte die Berechnungsgrundlagen, -methoden und Ergebnisse von Beispielrechnungen vor. Ergänzend wurden Prüfungen im IPH durchgeführt. Es wurden Vorschläge zur Verbesserung der Symmetrie sowie zur Veränderung an TFE-Ausrüstungen unterbreitet.

B. Buchholz; R. Preußler, KVE-IEV

Integrierte mikroelektronische Leittechnik für VUW 110 kV — Zuverlässigkeitskonzept und Betriebserfahrungen

Die integrierte mikroelektronische Leittechnik für VUW 110 kV auf der Basis der industriellen Mikrorechentechnik URSADAT 5000 vereinigt erstmals in einem Doppelrechnersystem Fernwirkaufgaben mit Automatisierungs- und Schutzfunktionen des Umspannwerkes. Das umfangreiche Diagnose- und Fehlerbehandlungssystem sichert hohe Verfügbarkeit der redundant aufgebauten Funktionen, indem Fehler im Führungsrechner durch Führungsübernahme des redundanten Rechners nach maximal 0,5 s beseitigt werden. Überfunktionen sind durch koordinierte Hard- und Softwaremaßnahmen ausgeschlossen. Die seit Mai 1987 im Dauerbetrieb eines VUW eingesetzte Anlage bewährte sich insbesondere bei zwischenzeitlich eingetretenen Störungen im Netz und in speziell durchgeführten Netzversuchen.

Im Schlußwort konnte eingeschätzt werden, daß auch das XI. Verbundnetz-Kolloqium wiederum eine Belebung und Bereicherung des energiewirtschaftlichen Erfahrungsaustausches, vornehmlich zu Fragen des Elektroenergieübertragungsnetzes, zwischen dem VE Kombinat Verbundnetze Energie und seinen vielen Partnern war.

G. Stegemann, Berlin EA 4001

Internationale Beeinflussungstagung

Anläßlich ihres 50jährigen Bestehens veranstaltete die Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen (SfB) in der Zeit vom 7. bis 9. Juni 1989 in München eine internationale Beeinflussungstagung, zu der Fachkollegen aus europäischen Ländern gezielt eingeladen waren.

Insgesamt besuchten 130 Vertreter aus den Bereichen der Bahn, der Post, den Energieversorgungsunternehmen, den Hochschulen und Instituten sowie der Industrie diese Tagung. Alle Fachvorträge einschließlich des Einführungsvortrages von *Buckel*, einer der Nestoren der Beeinflussungstechnik und des Festvortrages von Dr. *Kuhnert*, derzeitig Vorsitzender der SfB liegen gedruckt vor (s. anschließende Aufstellung).

Die Tagung wurde vom Bundesbahndirektor *Nießen* geleitet und vom Präsidenten der Oberpostdirektion München, *Kronthaler*, eröffnet. Im Einleitungsreferat stellte *Buckel* die Entwicklung der Beeinflussungsprobleme von den Anfängen bis zur Gegenwart heraus und ging auf wichtige Beeinflussungsfragen näher ein. Als Jurist der SfB wurde von *Hermann* das Koalitionsrecht in der BRD, Österreich und der Schweiz erläutert, womit eindeutig die Rechtslage, insbesondere die Priorität der Anlagen geregelt wird. Umfangreiche und langjährige Untersuchungen der FGH zu HF-Störungen durch Korona- und Funkenentladungen einschließlich Maßnahmen zu ihrer Begrenzung, Messung, Ortung und Bewertung wurden von *Hirsch* und *Schäfer* dargelegt. Kritisch sind insbesondere Funkenentladungen, die zwischen nicht galvanisch verbundenen Potentialen entstehen und nur von der Kapazität zwischen beiden abhängen, weniger von der Nennspannung der Leitung. Im Gegensatz zu den Koronastörungen müssen Funkenstörungen praktisch immer vollkommen behoben werden. Sie treten auch bei MS- und NS-Leitungen auf! Problematisch ist die Ortung, für die neben UHF-Empfängern mit Richtantenne zur groben Bereichsbestimmung noch Ultraschall-Richtmikrophone und Nachtsichtgeräte eingesetzt werden. Potentielle Störquellen sind schlechte Kontakte oder Korrosion an den Isolatorenketten, an Seil- oder Abstandhalter-Klemmen, anderen Schraubverbindungen und sogar allen Erdverbindungen oder schlecht geerdeten Metallteilen. Hinzu kommt, daß die Störungen sporadisch vor allem bei Trockenwetter auftreten. *Pesonen* berichtete hierzu noch, daß in Finnland im Koronastrom die 3. Oberschwingung mit 40 % eine hohe Beeinflussung hervorrufen kann. So wurden bei Rauhreif in einer 400-kV-Leitung 60 A gemessen.

Meyer stellte die Beeinflussungsprobleme als Teilgebiet der EMV umfassend heraus, ausgehend vom Beeinflussungsmodell, Störquellen und -senken, Störgrößen und Kopplungen. So werden auch Planungsschritte, schaltungstechnische und technisch-organisatorische Maßnahmen sowie die EMV-Meßtechnik behandelt. *Kopp* ging von der Entstehung und Ausbreitung von Oberschwingungen durch Netzrückwirkungen aus, die zunehmend auch Rechnerabstürze verursachen und teilte die Rechenverfahren in zwei Gruppen ein (Lösungen im Fre-

quenzbereich bzw. im Zeitbereich). Schließlich wurden Meßergebnisse vorgestellt, die seit 1984 gewonnen wurden, und die sich auf Wohngebiete konzentrierten. Mit Doppelprozessorsystemen und einem zusätzlichen externen PC zur Ergebnisspeicherung wurden Grund- und Oberschwingungen über eine Fast-Fourier-Transformation ermittelt, vorklassiert und als Einsekundenmittelwerte im PC gemäß DIN 45667 klassiert und alle 5 oder 15 min auf Diskette oder Festplatte gespeichert. Das Auswerteprogramm gibt die Ergebnisse tabellarisch aus oder auch graphisch als Tagesgang oder Häufigkeitsspektrum. Typisch ist auch hier wieder der Anstieg der 5. Oberschwingung am Abend durch die Fernseher. *Sakulin* berichtete über das an der TU Graz entwickelte Flickermeter und gibt registrierte Flickermessungen im 110-kV- und 20-kV-Netz in der Nähe eines Stahlwerkes an. *Weiler* und *Zwicky* zeigten eindrucksvoll, daß bei der stetig wachsenden Zahl von Beeinflussungen und Beeinflußten in den Netzen der öffentlichen Stromversorgung die Quantifizierung der Beeinflussungen und ihre meßtechnische Erfassung in zunehmendem Maße selbst zum Problem wird. Es wurden deshalb neuere Verfahren und Möglichkeiten zur Oberschwingungsanalyse und zur Bestimmung der Netzimpedanz auf der Basis der digitalen Signalverarbeitung entwickelt und vorgestellt.

Schreiber berichtete über Oberschwingungsmessungen in der Schweiz, wo für das NS-Netz der Anteil der 5. Oberschwingung durch die Fernsehlast am Abend ebenfalls bis 4% beträgt. Auch 1300 Lifts und Seilbahnen in Tirol bringen Oberschwingungen über 10%, so daß Saugkreise erforderlich werden und bei Q-Kompensationsanlagen Resonanzen entstehen können, die Zusatzmaßnahmen erfordern. *Häusermann* erläuterte vor allem den Artikel 3 des „Elektrizitätsgesetzes" der Schweiz aus dem Jahre 1902, das heute noch gilt und insbesondere auch die Aufteilung der Kosten bei erforderlichen Maßnahmen gegen unzulässige Beeinflussungen regelt. Nachdem die Kosten für Schutzmaßnahmen ab Mitte der 50er Jahre in die Millionen gingen, werden seit einigen Jahren für Fern- und Bezirksverbindungen in der Schweiz nur noch Glasfaserkabel eingesetzt. Auch Großkunden werden mit Glasfaseranschlüssen ausgerüstet! Im Beitrag *Lorke, Pundt, Schüppler* wurde nach einer kurzen Schilderung der Entwicklung der Beeinflussungsvorschriften in der DDR auf den Zusammenhang zwischen Sternpunkterdung und Beeinflussungsfälle, die zu untersuchen sind, hingewiesen und auf die Notwendigkeit und Möglichkeiten zur Begrenzung von Erdkurzschlußströmen eingegangen. Durch exaktere Berechnungen der Beeinflussungsintensitäten im Quelle-Senke-Bereich, Anwendung des Mehrleitermodells, des Einflusses des Schienenwiderstandes auf elektrische Ströme im Gleisnetz sowie Schutzschaltungen gegen impulsförmige Überspannungen lassen sich Einsparungen an Beeinflussungsmaßnahmen erreichen. Abschließend wurden neue höhere zulässige Grenzwerte für Ströme und Spannungen bei Personengefährdung angegeben, die auf den Sicherheitsgrenzwerten des Zentralinstitutes für Arbeitsmedizin fußen und auch in die Neufassung der TGL 200-0605/02 aufgenommen werden sollen. *Bethge* ging umfassend auf die elektromagnetische Beeinflussung durch den regulären Fahrbetrieb bei der DB ein, wo insbesondere Funkenentladungen Probleme hervorrufen. Auch die ohmsche und induktive Beeinflussung sowohl durch das 110-kV-Bahnnetz und die 15-kV-Fahrleitungen sind zu beachten. Um die Störbeeinflussung bei Drehstromloks zu reduzieren, werden sogenannte Störstromfilter auf der HS-Seite der Fahrzeugtransformatoren installiert. Die DB wird in letzter Zeit verstärkt damit konfrontiert, daß ein Betrieb von Bildschirmgeräten (Fernseher, PC-Monitore, CAD-Systeme) und medizinische Geräte (EKG und EEG) in der Nähe elektrischer Bahnstrecken nur bedingt oder gar nicht möglich ist. Daraus ist zu schlußfolgern, daß Hersteller und Anwender neuster elektronischer Entwicklungen wissen und berücksichtigen müssen, in welcher elektromagnetischen Umwelt die Anlagen errichtet und betrieben werden sollen.

Illgen und *Tischer* gaben Untersuchungsergebnisse zur Störfestigkeit digitaler Vermittlungsstellen speziell gegen Störungen durch Schalthandlungen (Trenner schalten) von SF_6-Anlagen bekannt. Der Einfluß der Anlagenschaltung und der Erdung der Geräte und Kabelschirme wurde besonders herausgestellt. *Hirtler* gab Rechnungen und Messungen für Potentialverläufe an der Erdoberfläche bei 220/380-kV-Leitungen in Österreich sowohl für homogene Böden als auch Zweischichtböden an. Dabei wurde festgestellt, daß ein großer Bodenwiderstand der Unterschicht den Potentialverlauf wesentlich abflacht und den Potentialtrichter ausdehnt. Im Festvortrag gab *Kuhnert* einen Überblick und Ausblick zu den Arbeiten der SfB.

Fachvorträge

Buckel, R. (DB München): 50 Jahre Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen — Vorgeschichte, Arbeitsweise, Ergebnisse

Hermann, H.-P. (VDE Frankfurt): Der rechtliche Rahmen der Beeinflussung elektrischer Anlagen

Hirsch, F.; Schäfer, E. (FGH Mannheim): Hochfrequenzstörungen durch Hochspannungsfreileitungen und -anlagen

Meyer, H.-G. (Universität Hannover): Elektromagnetische Verträglichkeit — ein Ziel der Beeinflussungstechnik

Kopp, H. (Universität Hannover): Netzrückwirkungen durch Oberschwingungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen

Sakulin, M. (TU Graz): Verfahren zur Messung und Beurteilung von Netzrückwirkungen

Weiler, J.; Zwicky, R. (ETH Zürich): Moderne Meßverfahren zur Quantifizierung niederfrequenter Einflüsse

Schreiber, R. (EW Zürich): 10 Jahre Oberschwingungsmessungen in schweizerischen Energieversorgungsnetzen

Häusermann, S. (PTT Bern): Überspannungen in Fernmeldeanlagen

Lorke, H.; Pundt, H.; Schüppler, H. (DDR): Wertung der Ergebnisse zu Beeinflussungsfragen in der DDR und zukünftige Problemstellungen

Bethge, W. (DB München): Bahn und Umwelt — Elektrotechnische Beeinflussung als Normalzustand

Illgen, M. (FTZ Darmstadt); *Tischer, G.* (Stuttgart): Störfestigkeit von digitalen Vermittlungsstellen

Hirtler, R. (Verbundgesellschaft Wien): Rechenmethoden bei der ohmschen Beeinflussung im Mastbereich

Kuhnert, E. (Stromversorgung Osthannover): Die Beeinflussungstechnik auf dem Weg in die Zukunft — 50 Jahre Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen.

H. Pundt, Dresden EK 4022

Computer Aided Software Engineering

146. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 15. Juni 1989

Prof. Dr. sc. techn. *Hübner*, Sektion Informatik der TU Karl-Marx-Stadt, stellte seinem Vortrag zu „Entwicklungstendenzen für CASE-Systeme in der Automatisierungstechnik" eine kritische Bewertung folgender Thesen voran:

1. Echtzeit- bzw. Steuerungssysteme sind vorwiegend maschinennah zu realisieren.

2. Es gibt relativ wenig systematische Grundlagen dafür.

3. Schnellere Rechner werden das Problem „Echtzeit" entschärfen.

4. Mehrprozessor-/Mehrrechner-Systeme werden Prozeßverwaltungen (Echtzeitbetriebssysteme) überflüssig machen.

5. Die Probleme mit der Software werden dadurch gelöst, daß immer mehr Funktionen in Hardware (VLSI, . . .) realisiert werden.

Es wurde festgestellt, daß es im Gegensatz zu diesen Thesen durchaus wissenschaftlich fundierte Methoden und Werkzeuge der Softwaretechnologie gibt und daß deren Anwendung in den nächsten Jahren große Bedeutung erlangen wird. Die Erläuterung des Hauptprozesses im Softwareentwurf erfolgte unter Hinweis auf die verschiedenen Einflußfaktoren, wie Standards, Entwicklungstechnik, Entwicklungssoftware, Hardware, Geld, Management und Mensch. Probleme ergeben sich vor allem bei großen Softwareprojekten hinsichtlich Kosten (im Vergleich zur Hardware), Termintreue (Fragen der Planungssicherheit) und Qualität.

Ausgehend von der Orientierung an Software-Entwicklungsumgebungen (Sprachen/Methoden/Werkzeuge) führte der Referent die einzelnen Arbeitsstufen von der Aufgabenstellung, deren Spezifizierung, den Entwurf (Synthese/Analyse), Implementierung, Integration und schließlich Verifikation bis hin zum fertigen Softwareprodukt auf. Dabei wurden auch Fragen der Systemstruktur, der Projektplanung und -verwaltung sowie Versionskontrolle und Dokumentation behandelt.

Nach Erläuterung einiger der bekanntesten CASE-Systeme wurden als Beispiel eines Forderungskataloges an Softwareentwicklungsumgebungen die Spezifika für Software von Vermittlungssystemen, wie

— Langlebigkeit
— Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz
— Echtzeitfähigkeit
— großer Aufwand an Unterstützungssoftware
— breites Spektrum an Fachwissen

— vielfältige Hardware

umrissen.

Diese Eigenschaften treffen in unterschiedlichem Maße auch für Systeme der Automatisierungstechnik zu. Danach wurden den einzelnen Phasen des Hauptprozesses beim Softwareentwurf die entsprechenden Sprachen und Tools zugeordnet.

Ergänzend hierzu gab Prof. *Hübner* zu den begleitenden Prozessen, wie beispielsweise Projekt- und Versionssteuerung oder Dokumentation sowie den entsprechenden Softwarewerkzeugen wichtige Hinweise.

Er ging auf Fragen der Qualifizierung der Mitarbeiter, das Management und die Generierung ein und demonstrierte schließlich anhand eines Beispiels Realisierungsmöglichkeiten.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EK 4041

Betrieb und Regelung von Elektroenergiesystemen CIGRE-Kolloquium des SC 39

Das Kolloquium des SC 39 in Budapest (18. bis 22. Juni 1989) stand unter der Leitung des Vorsitzenden *Merlin* (F). Die 130 Teilnehmer aus 26 Ländern wurden vom Generaldirektor der Energieversorgung Ungarn, *Hatvani*, begrüßt, der auch einleitend das Elektroenergiesystem in Ungarn erläuterte. Es folgte die Vorstellung und Diskussion von 29 Beiträgen zu 4 Vorzugsthemen, die in einem Konferenzband gedruckt vorliegen und deren wesentliche Ergebnisse im folgenden kurz angegeben werden:

Vorzugsthema 1

Betrieb und Regelung von Verbundsystemen mit spezieller Betonnung der international verbundenen Systeme

Benko, I.; Medgyesi, Gy. (H): Erfahrungen mit dem internationalen Verbundbetrieb in Ungarn im Hinblick auf die Empfindlichkeit bei Systemstörungen (1.01)

Terztyanszki, T.; Szabo, L.; Faludi, A. (H): Untersuchung der Leistungs-Frequenz Dynamik durch Simulation (1.02)

Major, P. (H): Stochastische Modellierung des Elektroenergieaustausches zwischen kooperierenden Energiesystemen (1.03)

Kovacs, P. (H): Ein neues Verfahren der Lastflußberechnung zwischen Systemen durch Echtzeitanalyse (1.04)

Vieira; u.a. (Brasilien): Steuerungen der HGÜ Itaipu zur Frequenzregulierung der 60-Hz- und 50-Hz-Systeme zwischen Brasilien und Uruguay (1.05)

Cavino, M. (I): Betrieb des westeuropäischen Verbundsystems (1.06)

Auranne, E.; Heikkila, H. (SF): Der Verbundbetrieb mit den Ost-West-Verbindungen des nationalen Energiesystems Finnlands (1.07)

Jääskeläinnen, K.; u.a. (SF): Der Effekt der HGÜ-Verbindung Fenno — Skan auf den Verbundbetrieb und das dynamische Verhalten des schwedischen und finnischen Netzes (1.08)

Vitek, V. (CS): Messung der Leistungszahl der Energiesysteme (1.09)

Karlik, P.; (CS) u.a.: Neue Regelmethoden im Verbundsystem der ČSSR (1.10)

In 1.01 werden die Probleme erläutert, die entstehen, wenn die 750-kV-Verbindung von der UdSSR nach Ungarn mit einer Spitzenlast bis zu 1850 kW bei einer Gesamtspitzenlast des Energiesystems Ungarns von 6500 MW ausfällt. Obwohl in 10 Jahren von 18 einpoligen Erdkurzschlüssen 16 durch eine automatische Wiedereinschaltung erfolgreich eliminiert werden konnten, werden zur Stabilisierung weitere Maßnahmen in Ergänzung zum AFE-System, wie Lastabwurf auf Eigenbedarf der KKW-Blöcke, Verbesserung des Blindleistungshaushaltes und Verbesserung des Überwachungssystems der staatlichen Lastverteilung in Notsituationen vorbereitet.

In 1.02 werden Untersuchungsergebnisse zum Leistungs-Frequenz-Verhalten des Energiesystems Ungarns bei frequenzabhängigem Lastabwurf und Berücksichtigung deren Frequenzabhängigkeit vorgestellt. Im Beitrag 1.03 wird ein Rechenprogramm erläutert, das den stochastischen Verlauf der Übergabeleistungen im internationalen Verbundbetrieb berücksichtigt. Auf diese Zufallsprozesse geht auch der Autor im Beitrag 1.04 ein und analysiert die den stochastischen Lastschwankungen unterlagerten Lastpendelungen mit 1 bis 5 min Periodendauer, um hieraus Rückschlüsse auf den internationalen Verbundbetrieb ziehen zu können. In 1.05 werden die Betriebsergebnisse mit der Steuerung und Regelung der HGÜ-Verbindung vom WKW Itaipu nach Paraguay, wodurch das 50-Hz-System Paraguays mit dem 60-Hz-System Brasiliens gekuppelt ist, wiedergegeben.

In 1.06 wird das westeuropäische Verbundnetz (UCPTE) vorgestellt und die Vorteile des Verbundbetriebes über 60000 MVA Kapazität der Verbundleitungen zwischen den Ländern bei einer installierten Kraftwerkskapazität von 371 GW und einer Spitzenlast bis zu 220 GW herausgestellt. Das im Norden Europas anschließende NORDEL-Verbundnetz wird im Beitrag 1.07 vorgestellt, wobei insbesondere auf die Hochspannungs-Gleichstrom-Kurzkupplung zur UdSSR mit einer Leistung von 1000 MW, die auf 1300 MW erhöht wird, eingegangen wird. Die Ende dieses Jahres in Betrieb gehende HGÜ-Verbindung Fenno—Skan durch den Bosnischen Meerbusen über ein 200 km langes Seekabel mit 400 kV und einer Leistung von 500 MW wird in 1.08 beschrieben. Sie trägt wesentlich zur Stabilisierung des NORDEL-Netzes und der Senkung der Netzverluste bei. In 1.09 wird eine Methode zur Ermittlung der Leistungszahl eines Energiesystems vorgestellt, die in der Lastverteilung der ČSSR verwendet wird und in 1.10 wird die Ermittlung des Leistungsflusses in Echtzeit als Basis der Zustandserkennung, der Sicherheitsüberwachung, der ökonomischen Lastverteilung und die Leistungs-Frequenzregelung in der Lastverteilung der ČSSR beschrieben.

Vorzugsthema 2

Verwendung der Betriebsdaten und Regelzentren von Energiesystemen für kooperative Informationsbedürfnisse von Energieversorgungsunternehmungen

Kimikazu Yada; Hironobu Suzuki (JP): Entwicklung eines Lastverteiler-Informationssystems (2.01)

Agostinelli, M.; u.a. (I): Ein effektiver Einsatz von On-line-Daten mit einer Reihe von Programmen zur Off-line Netzanalyse (2.02)

Kiss, L. (H): Die externe Nutzung von Betriebsdaten vom Rechnersystem der ungarischen nationalen Lastverteilung (2.03)

Power, M. (IRL): Das nationale Regelzentrum — eine Quelle für kooperative Informationen (2.04)

Gaisner, A. D.; u.a. (UdSSR): Erfassung von Betriebsdaten im Vereinigten Energiesystem der UdSSR (2.05)

In 2.01 wird ausführlich die Hard- und Software beschrieben, die bei der Chubu Electric Power Co, die Zentraljapan (Spitzenleistungsbedarf 18,6 GW) versorgt, verwendet wird. Die folgenden Beiträge 2.02 bis 2.05 erläutern die Vorteile des Datenaustausches und deren Aufgaben in Italien, Ungarn, Irland und im Vereinigten Energiesystem der UdSSR.

Vorzugsthema 3

Energiesystem — Simulatoren, Verwendung und neue Entwicklungen

Simonnet, B. (WG 39.06): Modelle, die als Trainingssimulatoren für Dispatcher genutzt werden (3.01)

Whitmarsh-Everiss, M. J. (WG 39.04): Eine Strategie zur Gestaltung von Echtzeit-Trainingssimulatoren für Netzregelungsingenieure (3.02)

Ertmer, G.; Schellstede, G. (BRD): Ein Trainingssimulator, der in ein Regelzentrum eines regionalen Energieversorgungsunternehmens integriert ist (3.03)

Mutch, K. R. (Südafrika): Vom Off-line- zum On-line-Trainingssimulator für Dispatcher (3.04)

Meeteren, H. P. van; u.a. (USA): Erweiterung von vorhandenen Systemen für den Energieeinsatz mit Möglichkeiten des Dispatchertrainings (3.05)

Cukalevski, N. (YU): Ein komplexes Programm für das Betriebstraining mittels Energiesystemsimulator (3.06)

Logeay, Y. (F): Entwicklung von Simulationsmitteln für das Verhalten von Energiesystemen, ihre Anwendungen für Regelzentren (3.07)

Ausgehend von der Tatsache, daß die Dispatcher sowohl in regionalen als auch zentralen Lastverteilungen von Energieversorgungsunternehmen bzw. Staaten sehr selten mit kritischen Situationen bzw. Netzzusammenbrüchen konfrontiert werden, ist es erforderlich, dieses Personal bestmöglichst auf solche Ereignisse vorzubereiten. So wurde im SC 39 unter der Leitung von Prof. *Handschin* eine besondere Arbeitsgruppe WG 30-06 gebildet, die alle Aktivitäten zum Aufbau von Trainingssimulatoren für das Betriebspersonal in den verschiedenen Ländern analysierte und deren Entwicklungen verfolgte.

So wird mit 3.01 eine umfassende Studie zu den verwendeten Modellen zur Simulation des Verhaltens des Elektroenergiesystems im stationären bzw. quasistationären Betrieb, bei plötzlichen Zustandsänderungen (transienter Zustand) und während Langzeitpendelungen vorgelegt. Um das jeweilige Netz besser simulieren zu können, wird zunehmend der Trainingssimulator mit den Echtzeitdaten gekoppelt, wodurch auch ein realistisches Bild vom Netzzustand und seiner Entwicklung im Normalbetrieb und bei Störungen entsteht. Wesentlich ist auch die interaktive Arbeitsweise in Echtzeit mit Bildschirm. Im Hinblick auf Rechenzeit wird oft nur die Lang-

zeitdynamik des Netzes modelliert. Im Beitrag 3.02 wird der bereits 1959 in der Energieversorgung in England aufgebaute und mehrfach verbesserte und erweiterte Trainingssimulator beschrieben. Durch die Verwendung von Parallelprozessoren ist dessen Leistungsfähigkeit wesentlich erhöht worden. In den Beiträgen 3.03 bis 3.07 werden Einzelheiten des Aufbaues und der Verwendung der Trainingssimulatoren bei den Pfalzwerken, in Südafrika, den USA, der SFR Jugoslawien und Frankreich vermittelt.

Vorzugsthema 4

Maßnahmen zur Reduktion der Betriebskosten bei Beibehaltung der Qualitäts- und Sicherheitsstandards.

Mariani, E.; Turner, K. (WG 39.03): Kurzfristige Spannungs-Blindleistungsplanung (4.01)

Meeteren, H. P. van; (USA): Minimierung der Betriebskosten bei Beibehaltung der Systemsicherheit (4.02)

Son, P. J. M. van; Ter Heegde, J. (NL): Überwachung des ökonomischen Verhaltens des Verbundsystems der Niederlande (4.03)

Boeije, W. S. (Südafrika): Erfahrungen zur Reduzierung der Betriebskosten des Energiesystems in Südafrika während einer Periode mit Überschuß an Kraftwerkskapazität (4.04)

Edwin, K. W.; Schröder, R. (BRD): Langfristige Betriebsplanung in hydro-thermischen Energiesystemen (4.05)

Simonnet, G.; u.a. (F): Neue Hilfsmittel der EdF beim Betrieb von Kraftwerken (4.06)

Sjelvgren, D.; u.a. (S): POP — Ein integriertes System zur optimalen Produktionsplanung (4.07)

Im 4. Vorzugsthema wurden die vielfältigen Möglichkeiten zur Betriebskostenreduzierung bzw. Senkung der Netzverluste behandelt. So wurde in 4.01 herausgestellt, daß durch eine gute Spannungs-Blindleistungsregelung eine gute Basis für eine zuverlässige und optimale Betriebsführung geschaffen werden kann. In 4.02 wurden verschiedene Verfahren beschrieben, die im Rahmen der Lastfluß- und Zustandsberechnungen seit 10 Jahren eingesetzt werden, um die Betriebskosten zu senken ohne die Sicherheit des Systems zu reduzieren. Für die Zukunft wird der Einsatz von Expertensystemen hierzu gesehen. Die als Folge einer Umstrukturierung der Energieversorgung in den Niederlanden erforderliche neue Planung und Steuerung des Elektroenergiesystems wird nach einer ausführlichen Charakterisierung desselben in 4.03 erläutert und in 4.04 die komplexen Möglichkeiten zur Verringerung der Betriebskosten in lastschwachen Zeiten unter Berücksichtigung der kalten Reserve, Steigerung der Instandhaltung und Wartung und Optimierung des Brennstoffeinsatzes im Netz der ESKOM beschrieben. Eine langfristige Einsatzplanung im Elektroenergiesystem mit DKW und WKW nach zwei unterschiedlichen Verfahren (stochastische dynamische Programmierung bzw. kontinuierliche lineare Programmierung) stellen die Autoren im Beitrag 4.05 vor. Die bei der EDF in Frankreich in Entwicklung befindliche neue Generation von Hilfsmitteln zur Unterstützung der Dispatcher in den Lastverteilungen, die durch die weitere Entwicklung der Fernmeldetechnik, der Fernsteuerung und der Datenverarbeitung möglich wird, beschreibt der Beitrag 4.06. In 4.07 wird schließlich ein integriertes System der Betriebsplanung der Staatlichen Energieversorgung Schwedens, das sowohl die Jahres-, Wochen- und Tagesplanung ermöglicht, vorgestellt.

Im Anschluß an die Vortragsveranstaltung berichteten die Leiter der Arbeitsgruppen des SC 39 über Ergebnisse ihrer Arbeit und die weiteren Zielstellungen, worüber vor allem auf der 33. Session der CIGRE in Paris 1990 und in der Zeitschrift Electra berichtet werden wird.

H. Pundt, Dresden EK 4023

Zuverlässigkeit von Komponenten technischer Systeme

Die 15. Tagung „Technische Zuverlässigkeit in München" wurde unter der Thematik „Zuverlässigkeit von Komponenten technischer Systeme, Analyse und Nachweisführung" durchgeführt. Zu Beginn sei zu bemerken, daß die Überschrift dem Inhalt nicht ganz gerecht wird, denn ein relativ großer Prozentsatz der Vorträge beschäftigte sich nicht mit der Zuverlässigkeit von Komponenten sondern mit der Zuverlässigkeit von Systemen.

Die Fachvorträge waren in 5 Themenkomplexe gegliedert:

1. Zuverlässigkeit elektronischer und elektromechanischer Komponenten
2. Zuverlässigkeit mechanischer Komponenten
3. Zuverlässigkeit von Mensch-Maschine-Systemen
4. Risiko und Zuverlässigkeits-Management
5. Praxis der Nachweisführung Zuverlässigkeit und Recht.

Im Block 1 wurden vor allem den Vertretern der Firma Siemens Ausführungen zu Fragen der Zuverlässigkeit komplexer Systeme gemacht.

K.-H. Möller stellte dabei eine Betrachtung zu Systemen aus Hard- und Software an. Er charakterisierte Hardwarefehler als Einzelfehler, während er Softwarefehler als Logikfehler bezeichnete. In seiner Betrachtung kommt er zu der Schlußfolgerung, daß es nicht möglich ist, ein komplexes System, daß aus Hard- und Software besteht, durch eine einzige Zuverlässigkeitskenngröße zu charakterisieren, sondern er schlägt vor, daß neben den üblichen Zuverlässigkeitskenngrößen noch die Restfehleranzahl als Charakteristikum mit aufgenommen wird, so daß für die Charakterisierung eines solchen komplexen Systems die Ausfallrate und die davon abgeleiteten Kenngrößen und die Restfehleranzahl in die Betrachtung einbezogen werden.

Stecher, Firma Siemens, stellte einige Methoden zur Zuverlässigkeitsberechnung komplexer technischer Systeme vor. Dabei ist zu beachten, daß komplexe und umfangreiche technische Systeme im Prinzip immer nur einmal vorkommen, so daß Erfahrungen nicht gesammelt werden können und die Zuverlässigkeitsvoraussage aus den Komponenten ermittelt werden muß. Ein Rechenprogramm mit einigen besonderen Techniken der Modellbildung, wie Fehlerbaummethode mit Multi-State-Komponenten unter Einbeziehung des homogenen Markov-Prozesses sowie Repeated Events und Lebensdauerverteilungen reparierbarer Fehlerbäume wurden vorgestellt. Diese Techniken erweitern das Anwendungsspektrum der normalen Fehlerbaummethode und ermöglichen eine relativ präzise Voraussage der Zuverlässigkeit von komplexen technischen Systemen. In Anwendung der vorgestellten Berechnungstechniken komplexer Systeme wurden von *Schleicher*, Firma Siemens, über die Zuverlässigkeitsbewertungen einer Hochspannungsgleichstromkurzkupplung vorgestellt. Ausgehend von der Schwachstellenanalyse wird in zwei Etappen erst der mittlere Ausfallabstand und anschließend die Verfügbarkeit gesteigert. Dabei werden völlig unterschiedliche Techniken angewendet, so daß insgesamt ein optimiertes System entsteht.

Nitzsch, Firma Siemens, versuchte, eine Prognose der Zuverlässigkeit künftiger elektronischer Systeme über die nächsten zehn Jahre aufzustellen. Dabei berücksichte er besonders den fortschreitenden Integrationsgrad und die damit verbundenen Veränderungen der Bauelemente. Er ging auf die Frage der statischen Spannungsfestigkeit, die Probleme der Wärmeabfuhr bei ständig kompakter werdender Bauweise und auf die Zuverlässigkeit der bekannten Daten ein. Der Einfluß neuer Bauelementetechnologien wurde ebenfalls berücksichtigt. Über qualitative Aussagen und Forderungen an die künftige Arbeit bei der Gestaltung von Bauelementen sowie von komplexen Systemen kommt er jedoch nicht hinaus.

Glimm und *Krotker* von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig untersuchten die Zuverlässigkeit von Komponenten für Meßsysteme im gesetzlichen Meßwesen. Sie betrachteten den Stand der Technik und unterbreiteten eine Reihe von Vorschlägen, die der Sicherung der Meßzuverlässigkeit mit Hilfe zuverlässigkeitstechnischer Methoden dienen. Die weiteren Vorträge im Bereich Systemzuverlässigkeit rundeten das Bild ab, hatten aber keinen allzu großen Neuigkeitswert.

In der parallel zur Zuverlässigkeit von Systemen abgehaltenen Vortragsreihe „Zuverlässigkeit mechanischer Komponenten, Strukturen und Systemen wurden Betrachtungen über die Zuverlässigkeit von Anlagen, vorwiegend mit mechanischen Komponenten, angestellt, so u.a. aus der chemischen Industrie, Kernkraftwerkstechnik, Flugzeugindustrie und der Raumfahrt. Hervorheben möchte ich in diesem Zusammenhang nur die Vorstellung eines Softwarekonzeptes für die Bemessung von Tragwerken in dem die finite Elementemethode mit der Monte-Carlo-Simulation kombiniert wurde und mit dieser Kombination recht akzeptable Rechenzeiten erreicht wurden.

Zum Komplex „Mensch-Maschine" wurden vier Vorträge gehalten, in denen zunächst die Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit untersucht wurde. Die Schlußfolgerung daraus war, daß die Werkzeuge und Theorien für dieses Problem noch in den Kinderschuhen stecken. In weiteren Vorträgen beschäftigten sich die Autoren mit dem Einfluß des Menschen auf komplexe Systeme und der Frage, ob der Mensch generell durch Automaten ersetzt werden

Fortsetzung auf Seite 390

PATENTE

Verfahren und Schaltungsanordnung zum Laden von Nickel-Kadium-Akkumulatoren

DD-WP: 264 796
Int.-Cl.: H 02 J 7/10
Anmeldetag: 27. 11. 87
Anmelder: BRG Mechatronikai Vallalat, Budapest

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zum Laden von Ni-Cd-Akkumulatoren zu schaffen, bei denen die Gefahr eines Kurzschlusses bzw. einer Kapazitätsabnahme gegenüber den bekannten Lösungen wesentlich reduziert ist und die es ermöglichen, sogar kurzgeschlossen und/oder in ihrer Kapazität beschädigte Ni-Cd-Akkumulatoren zu regenerieren sowie darüber hinaus den Ladevorgang wirksamer und von den Einzelsteuerungen weniger abhängig auszubilden.

Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis und Ausnutzung der Zusammenhänge zwischen den im Akkumulator bestehenden Erscheinungen und der Auswirkung des Ladevorganges auf diese Erscheinungen. Bei der Ladung bilden sich auf den Elektrodenoberflächen dort anhaftende Ionenknoten in einer inhomogenen Verteilung aus, wo sich die Metallatome konzentriert adsorbieren. Auf den Elektroden entstehen grobe Metallablagerungen mit großen Kristallstrukturen, deren Materialqualität anders ist als die der Metallionen. Im Betriebszustand ändert sich die relative Stromdichte im Bereich der Ablagerungen, wodurch zuerst die Lagerungskapazität des Akkumulators abnimmt, aber bei fortschreitender Ablagerung entstehen dann zwischen den Elektroden Kurzschlüsse.

Gemäß der Erfindung ist es erkannt worden, daß wenn beim Laden von Ni-Cd-Akkumulatoren in der Aufeinanderfolge von Lade- und Entladezyklen, die in den einzelnen Zyklen erzeugten konstanten Gleichströme mit sich steil ändernden und mit diesen Gleichströmen in gleicher Richtung verlaufenden Stromimpulsen, deren Intensität eines gegebenen Schwellwert übersteigt, überlagert werden, so ändert sich die Oberflächenverteilung der Elektroden nach Ablauf einer bestimmten Zeit wegen der sich wiederholenden Stromimpulse, die Größe der genannten Metallanlagerungen nimmt ab und mit der Zeit wird die Elektrodenoberfläche gleichmäßig.

D. Ufert, Berlin EA 3050

Schaltungsanordnung zur Begrenzung des Einschaltstromstoßes beim Einschalten von Transformatoren durch elektromagnetische Schalter

DD-WP: 264 325
Int.-Cl.: H.02 H 7/04
Anmeldetag: 17. 09. 87
Anmelder: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zum Einschalten von Transformatoren zu schaffen, die die Begrenzung des Einschaltstromstoßes mit Vorwiderstand vereinfacht sowie das Ansprechen vorgeordneter Schutzeinrichtungen und hohe Belastungen der Schaltelemente verhindert.

Erfindungsgemäß sind ein Hauptschütz und ein Hilfsschütz parallel angeordnet, ein Hilfskontakt (Schließer) des Hilfsschützes ist mit der Betätigungsspule des Hauptschützes und ein Hilfskontakt (Öffner) des Hauptschützes mit der Betätigungsspule des Hilfsschützes verbunden. Der Transformator wird mit den Hauptkontakten des Hilfsschützes über den Vorwiderstand eingeschaltet und nach Ablauf der natürlichen Einschaltverzögerung des Hauptschützes mit Überbrückung des Vorwiderstandes mit den Hauptkontakten des Hauptschützes direkt an das Netz geschaltet.

Die Größe des Vorschaltwiderstandes ergibt sich ungefähr aus dem Magnetisierungsstrom des Transformators, der Phasenspannung des speisenden Netzes und der angeschlossenen Verbraucherleistung je Phase:

$$R_V = 0{,}25 \frac{U_1^2}{U_1 I_m + P_2}.$$

Überraschenderweise kann mit wesentlich geringerer Verzögerungszeit zwischen dem Einschalten des Transformators über den Vorwiderstand und dem Überbrücken des Vorwiderstandes der Sättigungseffekt des Transformators beherrscht werden. Mit dem Einschaltvorwiderstand des Transformators kann eine Dämpfung des Einschaltvorganges erreicht werden, die den transienten Anteil schon nach ein bzw. zwei Netzspannungsperioden genügend abklingen läßt. Vorteilhaft kann damit die natürliche Einschaltzeit von normalen Leistungsschützen ausgenutzt und auf ein zusätzliches Zeitrelais verzichtet werden. Weiterhin ist es möglich, die Baugröße des Vorwiderstandes aufgrund der sehr kurzen Einschaltzeit sowie der relativ kleinen Ströme sehr klein zu bemessen. Gleichfalls kann das Hilfsschütz für eine wesentlich kleinere Leistung als das Hauptschütz ausgelegt werden.

D. Ufert, Berlin EA 3049

Verfahren zum Uberlastschutz von Drehstromgeneratoren in autonomen Stromversorgungsanlagen

DD-WP: 264 558
Int.-Cl.: H 02 H 7/06
Anmeldetag: 20. 10. 85
Anmelder: VEB Fahrzeugausrüstung Berlin

Es ist Ziel der Erfindung, ein Verfahren zu entwickeln, das in autonomen Stromversorgungsanlagen von Schienenfahrzeugen nicht nur den Drehstromgenerator vor thermischer Überlastung, sondern gleichzeitig auch seine nachgeschalteten Anlagenteile, wie Gleichrichter, vor Überstrom und seinen Antrieb vor mechanischer Überlastung durch den belasteten Generator schützt. Sie soll außerdem im Gegensatz zum Stand der Technik die volle Nutzung des momentanen Leistungsvermögens der Anlage entsprechend ihren Kühl- und Drehzahlbedingungen ermöglichen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren gelöst, das einmal die Ausgangsspannungen der Meßglieder für den Erregerstrom und die Erregerspannung miteinander vergleicht und zum anderen gleichzeitig die dem Erregerstrom proportionale Spannung mit einem vorgegebenen konstanten Wert vergleicht. Wenn einer der beiden oder beide Vergleiche positiv ausfallen, wird bzw. werden die entsprechenden Differenzen mehr oder minder verstärkt und zusammen mit der Ausgangsspannung eines Meßverstärkers für den Generatorstrom addiert.

Erfindungsgemäß wird erst diese Summenspannung von einem Regelverstärker mit einem Sollwert verglichen, dessen Ausgangssignal (gegebenenfalls unter möglicher Zuhilfenahme des Feldreglers) die Erregung des Generators beeinflußt. Sind beide Differenzen der Vergleiche negativ, so bleiben sie unwirksam und dem Regelverstärker wird lediglich die dem Generatorstrom proportionale Spannung des genannten Meßverstärkers zugeführt.

Wenn diese Spannung den Sollwert des Regelverstärkers erreicht, erfolgt eine Begrenzung des maximalen Generatorstromes.

D. Ufert, Berlin EA 3048

Fortsetzung von Seite 389

sollte. Die Antwort gipfelte im wesentlichen in der Forderung, den Menschen nicht aus der Produktion zu verdrängen, sondern die Systeme fehlertolerant bzw. fehlerverzeihend zu gestalten.

Im Bereich „Zuverlässigkeits-Management" wurden sechs Vorträge gehalten, die sich insbesondere mit Fragen der Organisation der Zuverlässigkeitsarbeit für Kernkraftwerke, mit Sicherheitsfragen in Kernkraftwerken sowie mit der Funktionsverfügbarkeit und mit der Sicherheit statistischer Analysen und Messungen beschäftigen. Hervorheben möchte ich den Vortrag von *Menacher*, der die Nachweisführung von Qualitätssicherungsmaßnahmen während der Anlagenentwicklung vorstellte und dabei ein geschlossenes Konzept mit definierten Berichterstattungen und mit definierten Prüfungen zum Vortrag brachte. In der Rubrik „Zuverlässigkeit und Recht" wurde nur ein Vortrag gehalten, der die Einbeziehung der technischen Zuverlässigkeit in die Problematik der Sachmängelgewährleistung und der Produkthaftung zum Inhalt hatte. Hier wurde erläutert, daß die technische Zuverlässigkeit bei der Nachweisführung der Fehlerverursachung eine bestimmte Rolle bei Rechtsstreitigkeiten spielen könnte.

Zusammenfassend möchte ich feststellen, daß das Symposium „Zuverlässigkeit von Komponenten technischer Systeme" einen interessanten und relativ umfassenden Überblick über die Zuverlässigkeitsarbeit und die Anstrengungen zur Qualitätssicherung in führenden Konzernen Westeuropas ermöglichte.

H. Preuß, Wismar EK 4012

AUS ANDEREN ZEITSCHRIFTEN

Die Rolle der Leistungselektronik in künftigen Elektroenergiesystemen

Hingorani, N. G.: IEEE proceedings (1988) 4, S. 481—482

Im Laufe der nächsten 20 Jahre werden sich auf dem Gebiet der Elektroenergiesysteme ähnliche grundlegende Veränderungen vollziehen wie sie bereits in der Kommunikations- und Rechentechnik eingetreten sind. Schon heute wird die Leistungselektronik zum Aufbau von AC/DC-Wandlern für die Hochspannungsübertragung mit Gleichstrom (HVDC), für statische Blindleistungskompensatoren, unterbrechungsfreie Stromversorgungen, zum Schutz empfindlicher Anlagen und für Antriebsregelungen angewendet.

In naher Zukunft werden leistungselektronische Bauelemente zur besseren Anpassung der von fotoelektrischen bzw. Windgeneratoren erzeugten Elektroenergie an die vorhandenen Übertragungsnetze dienen und — über einen längeren Zeitraum betrachtet — schließlich mechanische Schalter in elektrischen Verteilungsnetzen ersetzen.

Wechselspannungssysteme sind heute mechanisch gesteuert; demzufolge arbeitet die Steuerung relativ langsam und ist mit Verschleiß behaftet. Der Energiefluß durch eine Wechselstromleitung ist eine Funktion des Phasenwinkels, der Spannungen am Anfang und am Ende der Leitung und der Impedanz. Diese Parameter können nicht mit hoher Geschwindigkeit gesteuert werden. Die relativ seltene Steuerung des Phasenwinkels erfolgt mit mechanischen Phasenschiebern. Stufenschalter, Drosseln und Kondensatoren werden i. allg. ebenfalls mechanisch geschaltet; diese Steuerungen sind also langsam. Der größte Nachteil des Wechselstromsystems ist die Blindleistung, die die Leitungen belastet und Probleme bei der Spannungssteuerung verursacht. Es gibt schon thyristorgesteuerte statische Blindleistungskompensatoren, wodurch die Frage nach weiteren Anwendungen der Leistungselektronik aufgeworfen wird.

Man kann annehmen, daß Bauelemente für Bereiche von bis zu 20 kV und einigen tausend Ampere mit hohem di/dt und dv/dt, geringen Verlusten und niedrigen Kosten Realität werden. Die Kombination von integrierten Schaltkreisen mit MOS-gesteuerten Thyristoren (MCT) hat zur Möglichkeit der optischen An- und Abschaltung mit geringem Energieaufwand geführt. Der Trend zu umrichtergesteuerten drehzahlvariablen Antrieben wird sich verstärken.

Insgesamt ist ein Elektroenergiesystem zu erwarten, das eher elektronisch als mechanisch gesteuert sein wird. Prinzipiell findet die Anwendung der HVDC-Übertragung verstärkte Beachtung, weil sie einen hohen Grad von Flexibilität bietet, d. h., der Energiefluß kann unabhängig von der Frequenz, der Wechselspannung und der Impedanz des Systems in jede Richtung gesteuert werden. Die Anwendung von leistungselektronischen Bauelementen könnte diese Vorteile auch für die Wechselstromübertragung ermöglichen. Man könnte sich z. B. einen leistungselektronischen Hochgeschwindigkeits-Phasenschieber für 360° vorstellen, der den Energiefluß zwischen zwei Systemen steuert. Dieser Baustein wäre gegenüber der HVDC-Übertragung kostenungünstiger, deutet aber die Möglichkeit einer Reihe von Lösungen an.

Es ist ein System von Bausteinen vorstellbar, die, in geeigneter Auswahl und Kombination, die Möglichkeit von flexiblen Wechselstromübertragungssystemen bieten. Dazu könnten Phasenschieber auf der Basis von Leistungs-Halbleiterbauelementen, verbesserte statische Blindleistungskompensatoren auf GTU- oder MCT-Basis, Nutzstrombremsen, Impedanz-Kompensatoren und weitere, noch zu entwickelnde Bausteine gehören.

H. G. Schüler, Berlin EA 2879

Experimentelle Überprüfung von 1200-MW-Wärmekraftwerksblöcken bezüglich der Anwendbarkeit für Impulsentlastung

Schakalo, V. V., u. a.: Električeskie stančii (1988) 9, S. 32—36

Die kurzzeitige Entlastung der Turbine ist ein effektives Mittel zur Verhinderung von Stabilitätsstörungen (Asynchronläufen) in Elektroenergiesystemen, die Systemzusammenbrüche nach sich ziehen können.

Die Impulsentlastungsversuche mit der Turbine K-1200-240-3 von den Leningrader Metallwerken (LMS) sind bei einer Ausgangsleistung von 1100 MW durchgeführt worden. Die Amplitude der Rechteck-Steuerimpulse blieb unverändert bei vierfacher Nennstellgröße, aber die Impulsdauer wurde variiert (0,04; 0,06; 0,08 s). Bei einer Impulsdauer von 0,084 s erreichte die Turbinenleistung nach etwa 0,8 s bei 35 MW ihr Minimum. Hierbei wurde eine kurzzeitige Axialverschiebung der Turbinenwelle in Richtung Generator von 0,06 mm registriert. Die Leistungssenkung ging mit 250 %/s bei einer anfänglichen Verzögerung von 0,25 s vor sich. Nach 5 s stellte sich die volle Ausgangsleistung wieder stabil ein.

Die Versuche wurden bei Gleitdruckfahrweise des Blocks im Bereich von 800 bis 1200 MW durchgeführt. Der Dampfdruck vor der Turbine erreichte 0,5 s nach Impulsgabe sein Maximum von 23,8 MPa bei einem Ausgangsdruck von 20,2 MPa. Damit wird ein Ansprechen der Dampferzeuger-Sicherheitsventile vermieden. Bei ähnlichen Versuchen an einer 800-MW-Turbine mit Nenndampfdrücken sprachen nach 0,5 s die Sicherheitsventile an, wobei bei praktisch gleichem Regelsystem die Verzögerung des Beginns der Leistungseinsenkung nur 0,2 s betrug.

Die Versuche ergaben, daß die 1200-MW-Turbinen für Impulsentlastungen geeignet sind. Zum Erreichen der üblichen Entlastungen auf 70 %, 45 % und 20 % der Nennleistung sind entsprechende Impulse einer Länge von 0,05; 0,065 und 0,8 s erforderlich.

E. Broßmann, Berlin EA 2969

Betriebszuverlässigkeit der 35-/330-kV-Leitungen und Wege zu ihrer Erhöhung

Tumastschick, N. I.: Električeskie stančii (1988) 9, S. 84—85

Die Aussagen beziehen sich auf den Energiebezirk Grodno in Belorußland. Im 35/330-kV-Netz beträgt die Störhäufigkeit je 100 km Leitungslänge durchschnittlich 5,4; davon 0,38 definitive Ausschaltungen mit Beschädigungen. 69 % aller Ausschaltungen sind erfolgreiche AWE (Automatische Wiedereinschaltungen), der Rest sind länger andauernde Ausschaltungen. Der Hauptteil der erfolgreichen AWE (76 %) erstreckt sich über den Zeitraum von Mai bis August, aber nur insgesamt 18 % aller Störungen in diesem Zeitraum werden von Gewittern verursacht. Leitungsstörungen haben dort vorrangig in Isolatorenverschmutzungen bei gleichzeitiger Feuchtigkeitseinwirkung, insbesondere Tau, ihre Ursache.

Jährlich ereignen sich im Energiebezirk Grodno durchschnittlich 25 110-kV-Leitungsausschaltungen, die von jungen Störchen durch Überbrückung der Leiterseile verursacht werden. Das tritt praktisch nur Ende Juli/Anfang August ein, wenn die jungen Störche wegen Platzmangels in den Nestern auf die Leitungsmasten fliegen, wo der Phasenabstand 1,3 m (Flügelspannweite der Störche 1,4 m!) beträgt. Aus Gründen des Vogelschutzes und wegen der Betriebszuverlässigkeit der 110-kV-Leitungen sollen diese Abstände vergrößert werden, was einen Kilometer Leitung um 150 bis 200 Rubel verteuert. Dabei ist der Abstand zwischen oberem und unterem Mastausleger (Traverse) von 3 auf 4 m durch Herabsetzen des unteren zu erhöhen. Infolge der verminderten Durchhanghöhe sind dann allerdings mehr Masten erforderlich.

Die Analyse der länger andauernden Störungen zeigt, daß 66 % infolge von Leiterseilschäden (Verschleiß, Korrosion), 38 % durch Isolator- und Armaturenschäden, 3 % durch Erdseilschäden und lediglich 1 % durch Mastschäden eintreten. Alu-Stahl-Leiterseile des kleinen Querschnitts von 35 bis 70 mm², die in 35- bis 110-kV-Netzen zum Einsatz kommen, sind aufgrund der Betriebserfahrungen nach 25 Jahren Betrieb prophylaktisch zu wechseln.

E. Broßmann, Berlin EA 2968

Betriebserfahrungen mit den 750-kV-Leitungen

Bugsdorf, V. V.; Turskaja, T. B.: Električeskie stančii (1988) 5, S. 69—72

Die Betriebserfahrungen mit den 750-kV-Leitungen in der UdSSR und Kanada verweisen auf deren hohe Zuverlässigkeit, die entschieden über der der 500-kV-Leitungen liegt. Die erhöhte anfängliche Störhäufig-

keit der 750-kV-Leitungen in Kanada (735 kV Nennspannung) war hauptsächlich auf die eingesetzten Keramikisolatoren zurückzuführen. Der Einsatz von Glasisolatoren brachte jene auf das Zuverlässigkeitsniveau der sowjetischen Leitungen.

Lediglich ein Drittel aller Leitungsausschaltungen werden durch Fehler direkt auf den 750-kV-Leitungen hervorgerufen. Der Anteil von Fehlhandlungen in den angrenzenden Umspannwerken ist relativ hoch. In der UdSSR führten vorrangig Fehler an den Drosselspulen, Wandlern und Leistungsschaltern und in Kanada an Spannungswandlern und Trennern zu Leitungsstörungen. Durch eine veränderte Konstruktion konnte das Drosselproblem in der UdSSR erfolgreich gelöst werden.

Durch das hohe Isolationsniveau und die gelungene Erdseilanordnung ist die Blitzfestigkeit der 750-kV-Leitungen 2,5mal höher als die der 500-kV-Leitungen, was die bekannte These von der abnehmenden Blitzanfälligkeit mit steigendem Spannungsniveau stützt.

Infolge Leiterseilvereisung ereignete sich in Kanada eine schwere Havarie, als die Eislast 1,5 bis 2,5mal die Reißfestigkeit der Seile 520/27 übertraf. Viele Seile rissen, und 16 Maste von zwei parallel verlaufenden Leitungen stürzten um. In der UdSSR ist bei starker Belastung durch feuchten Schnee und einer Windgeschwindigkeit von 30 m/s ein Abspannseil von einem Mast aus der Klemme gerissen worden. Der Mast stürzte um.

An den 750-kV-Leitungen beträgt der Abstand zwischen Leiter- und Erdseilen horizontal 4,8 m und vertikal 14 m, wodurch Leiterseiltanzen infolge Windbelastung nur in extremen Fällen zum Überschlag führen kann (bisher einmal). Ermüdungsbrüche sind bisher nach teilweise 20jährigem Betrieb der 750-kV-Leitungen nicht aufgetreten. Die Effektivität der eingesetzten Doppelabstandshalter zur Schwingungsdämpfung wird dadurch bestätigt.

Überschläge an feuchten Isolatoren (Nebel, Regen, feuchter Sohnee) traten lediglich bei Lufttemperaturen um 0 °C auf.

Unabhängig von den seltenen Ausschaltungen der 750-kV-Leitungen infolge von Störungen könnte die automatische Wiedereinschaltung ihre Betriebszuverlässigkeit entscheidend erhöhen. Bei mehr als 50 % der Leitungsfehler wäre sie effektiv.

E. Broßmann, Berlin EA 2867

Streckbetrieb des Reaktors WWER-440 mit Gleitdruckfahrweise im 2. Kreislauf

Videnev, Je. N., u.a.: Električeskie stančii (1988) 5, S. 15—19

Der Fehler bei der rechnerischen Ermittlung der Kampagnedauer zwischen den jährlichen Brennstoffumladungen der Druckwasserreaktoren beträgt heute immerhin 5 %. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für ein Erschöpfen der Reaktivitätsreserve des Reaktors vor dem vom Kraftwerks-Leistungsbedarf des Elektroenergiesystems bestimmten Umladetermin relativ hoch. Für diese Fälle wird heute der Streckbetrieb weltweit angewendet. Der 1366-MW-Druckwasserreaktor des Kernkraftwerks Grohnde (BRD) hatte 1987 beispielsweise nach einem 88-tägigen Streckbetrieb noch eine Reaktorleistung von 55 %.

Die negativen Temperatur- und Leistungskoeffizienten der Reaktivität der Druckwasserreaktoren ermöglichen, zusätzliche Reaktivitätsreserven bei verminderten Wasser- und Dampfparametern im 1. und 2. Kreislauf freizusetzen und damit die Reaktorkampagne zu verlängern.

Die positiven Betriebserfahrungen im Kernkraftwerk Kola mit der Gleitdruckfahrweise im 2. Kreislauf zeigen, daß das die ökonomischste Variante im Vergleich zur Festdruck- oder Minimaldruckfahrweise ist. Bei der fast viermonatigen Gleitdruckfahrweise der Blöcke des Kernkraftwerkes Kola W-230 im Jahre 1977 und W-213 im Jahre 1986 änderten sich die Betriebsparameter folgendermaßen (für W-213):

Elektrische Leistung	461 bis 300 MW
Dampfdruck im Dampferzeuger	4,7 bis 3,0 MPa
Mittlere Wassertemperatur im 1. Kreislauf	284 bis 252°C
Wirkungsgrad	30 bis 25 %

Bei der auf die Gleitdruckfahrweise folgenden Umladung mit Großinstandhaltung konnten keinerlei Schäden an der Anlage infolge dieser Betriebsweise festgestellt werden.

Die Einführung der Gleitdruckfahrweise erfordert eine stufenweise Veränderung des technologischen Schutzes und Untersuchungen bezüglich der statischen und zyklischen Festigkeit der Anlagen und der Sprödigkeit des Reaktordruckgefäßes für diese nichtprojektgerechten Temperaturbereiche. Die zu verändernden Einstellungen des technologischen Schutzes wurden unter dem Gesichtspunkt des gleichen Sicherheitsniveaus des Reaktors im Vergleich zum Normalbetrieb ermittelt. Während der Gleitdruckfahrweise müssen bei jedem Druckabfall um 0,2 MPa die Einstellungen des technologischen Schutzes verändert werden, wobei das in Zukunft automatisch erfolgen soll. Die Gleitdruckregime bewirken keine Verminderung der Sollbetriebszeiten der Anlage.

E. Broßmann, Berlin EA 2866

Elektroantrieb für Erdgastrassenkompressoren

Kolokolin, A. M., u.a.: Isv. AN SSSR (1988) 3, S. 146—148

Zur Zeit sind in der Sowjetunion lediglich 20 % der installierten Antriebsleistung für die Gastrassenkompressoren elektrisch. Die restlichen 80 % werden von Gasturbinen, hauptsächlich mit einer Leistung von 10 bis 16 MW, gestellt. Gasturbinen erreichen mit Abwärmenutzung günstigenfalls einen Wirkungsgrad von 30 %. Die heutigen Elektro-Synchronmotoren mit einer Leistung von 4 bis 4,5 MW für die Gaskompressoren sind jedoch nicht regelbar; das ist ihr Hauptmangel.

Andererseits ist die Umstellung der Gaskomperssoren auf Elektroantrieb die Hauptrichtung für einen ökonomischen Gastransport und die Einsparung des hochwertigen Brennstoffs Gas. Selbst beim üblichen Start unbelasteter Synchronmotoren über strombegrenzende Drosselspulen treten Anlaufströme mit dem 3- bis 5fachen Nennstrom auf. Eine Tatsache, die eine stabile Elektroenergieversorgung erfordert, die insbesondere in den Nordgebieten des Landes schwer abzusichern ist. Außerdem darf die Elektroenergieversorgung der Gastrassenkompressor-Motoren nicht mehr als 5 bis 10 min unterbrochen sein sowie mit starken Frequenzänderungen einhergehen.

Ein realer Weg zur Verbesserung der technisch-ökonomischen Kennziffern der projektierten und im Bau befindlichen Kompressorstationen mit ungeregelten Synchronmotoren besteht im Einsatz von Thyristorfrequenzumformern für den Anlaufprozeß. Ein Thyristorfrequenzumformer reicht für den nacheinander folgenden Start der einzelnen Synchronmotoren einer Kompressorstation aus. Hierbei werden die Motornennströme nicht überschritten, es treten keine Stoßbelastungen für den Motor auf, und die Anforderungen an den Netzausbau und die Hochspannungsleitungen vermindern sich beträchtlich.

Die Konzeption mit einem Thyristorfrequenzumformer je Kompressorstation mit Elektroantrieben hat eindeutige ökonomische Vorteile gegenüber dem Einsatz von geregelten Synchronmotoren. Der jährliche volkswirtschaftliche Effekt wird mit 150 Millionen Rubeln ausgewiesen. Es werden z. Z. verstärkte Anstrengungen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Synchronmotoren STD-12,5 mit einer Leistung von 12,5 MW unternommen.

E. Broßmann, Berlin EA 2888

Die Energetik der Welt 1985

Lebedev, B. P.: Energochosjaistvo sa rubeshom (1987) 6, S. 1—5

Der Anteil der für die Elektroenergieerzeugung eingesetzten Primärenergieträger wuchs von 27 % 1982 auf 32 % 1985 an. Der mittlere Pro-Kopf-Elektroenergieverbrauch beträgt etwa 2000 kWh im Jahr, wobei die Verteilung extrem unterschiedlich ist: Norwegen 24777 kWh, Kanada 16522 kWh, Schweden 16165 kWh, Kampuchea 11 kWh, Tschad 13 kWh und Guinea-Bissau 16 kWh. Der hohe Verbrauch in den führenden Ländern ist durch den Einsatz billiger Wasserkraftwerksenergie (Norwegen 99 %) für Elektroheizzwecke bedingt.

In acht Ländern wird mehr als ein Viertel der Elektroenergie in Kernkraftwerken erzeugt (Frankreich, Belgien, Taiwan, Schweden, Schweiz, Finnland, VRB und BRD). Größte Kernkraftwerke: Fukusima (Japan) 7700 MW, Bruce (Kanada) 5500 MW, Gravelines (Frankreich) 5400 MW. In der USA werden zur Zeit 108 Kernkraftwerke, weltweit 404 in insgesamt 32 Ländern mit einer Gesamtleistung von 284559 MW betrieben.

26 % des Welterdöls kommen aus Lagerstätten im Meer. Das Interesse an Gezeitenkraftwerken wächst erneut. Im Jahre 1984 ging das 18-MW-Gezeitenkraftwerk Annapolis (Kanada) in Betrieb und hatte 1985

eine Verfügbarkeit von 99 %. Die Gesamtleistung der Geothermalkraftwerke stieg von 4000 MW 1985 auf fast 5000 MW 1987. In Kalifornien wurde ein kombiniertes Sonnen-Gas-Kraftwerk mit einer Leistung von 30 MW an den Betreiber übergeben. 365 Müllverbrennungsanlagen sind 1987 betrieben worden.

Der Anteil der Hochspannungsleitungen (330 bis 750 kV) wächst ständig. Es gingen bereits Gleichstromleitungen mit Zwischenabnahmen in Betrieb. In der BRD werden die ersten Vierfach-380-kV-Leitungen mit einer Masthöhe von 62 m betrieben. Auch die Mastvariante für zwei 380- und vier 220- oder 110-kV-Leitungen mit einer Höhe von 67 m wird angewendet.

Im Energiesystem Westberlins (installierte Kraftwerksleistung 2300 MW, maximaler Verbrauch 1800 MW) wird ein Batteriespeicher mit einer Frequenzregelleistung von 8,5 MW und sofort verfügbarer Reserve von 17 MW eingesetzt. Im Energiesystem Südkaliforniens ist ein Bleiakkumulator mit 40 MWh Kapazität geplant. Die Speicherleistung an der Gesamtkraftwerksleitung beträgt in den USA 3 %, in England, Frankreich und in der BRD 6 bis 7 %, in Japan 10 % und in Italien 14 %.

In der DDR haben sich die Langstabseparatoren zur Dämpfung des Seiltanzens bewährt. Von 78 angebotenen Relaistypen für den Netzschutz sind nur noch drei elektromechanisch — LZ3, L86 (BBC) und DOZPA-mhe (Japan). 1986 gab es in der Gruppe 34 der CIGRE schon keinen Beitrag zu elektromechanischen Relais mehr.

England erreichte große Fortschritte bei der Verdichtung der Tagesganglinie (Verhältnis Minimal- zu Maximallast): 1970 0,64; 1975 0,7 und 1985 0,76. In der USA beginnt sich intensiv die Steuerung des Elektroenergiebedarfs durchzusetzen. Ein 1300-MW-Dampferzeuger der Firma Babcock-Wilox, einem Wärmekraftwerk in der USA, erzielte mit 607 Tagen ununterbrochenem Betrieb einen neuen Rekord.

Die Elektroenergieproduktion der VR China stieg von 1980 bis 1985 um 35 % bei einem mittleren Zuwachs in der Welt um 15 %. Der Pro-Kopf-Elektroenergieverbrauch beträgt jedoch mit 391 kWh in der VR China nur ein Fünftel des Weltdurchschnittes.

E. Broßmann, Berlin EA 2783

25 Jahre Zentrale Dispatcherverwaltung (ZDV) in Prag

Druntschilov, I.: Električeskie stančii (1987) 12, S. 70—71

Der Parallelbetrieb von Landesnetzen ist durch folgende Argumente begründet:

— Erhöhung der Zuverlässigkeit der Elektroenergieversorgung
— Verringerung der erforderlichen heißen Reserve in den einzelnen Elektroenergiesystemen (EES)
— Ausnutzung des Zwischensystemeffekts infolge verschiedener Zeitzonen
— verbesserte Bedingungen für eine optimale Regimeführung
— Verbesserung der Kraftwerksstruktur durch hochökonomische Blöcke (500 bis 1000 MW), deren Ausfall in einem vereinigten EES nur bzw. besser beherrscht wird.

Im Jahre 1953 wurde der erste Parallelbetrieb zwischen der ČSSR und der UVR aufgenommen. Dem schlossen sich 1960 die DDR, 1961 die VRP und im Juli 1962 das Lwower EES der UdSSR an. Am 25. Juli 1962 ist das „Abkommen zur Bildung der Zentralen Dispatcherverwaltung für die vereinigten Elektroenergiesysteme der VRB, UVR, DDR, VRP, SRR, ČSSR und des Westukrainischen EES der UdSSR" mit dem Sitz in Prag von den Regierungsbevollmächtigten unterzeichnet worden. Die ZDV Prag begann im Januar 1963 ihre Tätigkeit mit der Steuerung des aus den Landesnetzen der UVR, DDR, VRP, ČSSR und Lwowenergo bestehende Vereinigte Elektroenergiesystem (VES) mit einer Spitzenlast von 18240 MW. 1963 wurde das EES der SSR und 1967 das der VRB an das VES angeschlossen. Ende 1978 ist die erste 750-kV-Leitung Winniza — Sapadnoukrainskaja — Albertirsa (UVR) im VES in Betrieb genommen und 1979 das Energiesystem Süden der UdSSR angeschlossen worden. Ende 1985 erfolgte die Inbetriebnahme der 750-kV-Leitung Chmelnizkaja — Rzeszow (VRP) und im August 1986 Juschnoukrainskaja — Isaccea (SRR), die 1987 nach Dobruja (VRB) verlängert wurde.

Die installierte Kraftwerksleistung des VES betrug Ende 1962 28410 MW und vergrößerte sich 5,8mal bis 1987 auf 170000 MW. Die installierte Kernkraftwerksleistung des VES betrug Anfang 1987 17815 MW (entspricht 12 % der Gesamtleistung). Heute betreiben fünf Landessysteme im VES Kernkraftwerke, und in allen VES-Ländern befinden sich Kernkraftwerke im Bau.

Die maximale Austauschleistung zwischen den Ländern betrug 1962 760 MW und 1987 7000 MW (entspricht 6 % der maximalen VES-Last).

E. Broßmann, Berlin EA 2784

Komplexes Programm für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt in der Energetik der UdSSR

Makarov, A. A.; Uschakov, V. M.: Energija (1988) 5, S. 2—7

Bis zum Jahre 2000 soll sich der spezifische Energieverbrauch je Rubel Nationaleinkommen 1,4mal und bis 2010 zweimal verringern. Das soll zu 60 % mit Strukturänderungen in der Volkswirtschaft erreicht werden, konkret durch Einschränkungen in den energieintensiven Zweigen, wie Metallurgie, Düngemittelproduktion und entsprechender Entwicklung intelligenzintensiver Zweige. Die restlichen 40 % sollen durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt in der Energieerzeugung und dem Energieverbrauch gesichert werden. Mit Hilfe des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Energiewirtschaft sollen bis zum Jahre 2010 500 Mrd. Rubel Investitionen, 900 Mill. t Steinkohleneinheiten Brennstoff eingespart und 8 Mill. Werktätige freigesetzt werden.

Aus heutiger Sicht können beispielsweise mit dem allseitigen Einsatz automatischer Regler allein 40 % der Wärmeenergie von den Fernwärmenetzen eingespart werden. Besondere Anforderungen stellt dieses Komplexprogramm an den Energiemaschinenbau. Analysen ergaben, daß die störungsfreie Betriebszeit der Kraftwerke nur die Hälfte von jener in kapitalistischen Industrieländern beträgt. Der Personalbestand ist dort 3 bis 4mal geringer, und das mittlere Niveau der Schadstoffausstöße der sowjetischen Kraftwerke im Vergleich mit den besten der Welt ist bezüglich fester Bestandteile zehnmal, Schwefel dreimal und Stickstoff zweimal höher. In der Erdöl- und Erdgasindustrie entsprechen 71 % der Anlagen nicht dem Weltniveau. Das Erschließungstempo von Kohleschächten ist in der Sowjetunion 2 bis 3 mal langsamer, und die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit der Schachtanlagen liegen merklich unter denen der führenden westlichen Industriestaaten.

Die bisherige Strategie, daß ab Mitte der 90er Jahre die Gas- und Erdölförderung nicht mehr erhöht und die weitere Steigerung ausschließlich mit Kernenergie und Kohle erfolgt, wird geändert. Die Erschließung und Erkundung weiterer Gasvorkommen in der Sowjetunion lassen den Anteil des ökologisch saubersten organischen Energieträgers auch über die Jahrtausendwende hinaus weiter anwachsen. Die forcierte Entwicklung der Gasindustrie erfolgt wegen der sechsfachen höheren Arbeitsproduktivität vergleichsweise zur Kohleindustrie und dem gedrosselten Kernenergieprogramm sowie infolge der beträchtlich gestiegenen sicherheitsbedingten Investitionskosten für Kernkraftwerke.

E. Broßmann, Berlin EK 2889

Lärmbelastung durch 1150-kV-Leitungen

Asernikova, T. I.; Jemeljanov, N. P.: Isv. AN SSSR (1988) 3, S. 60—69

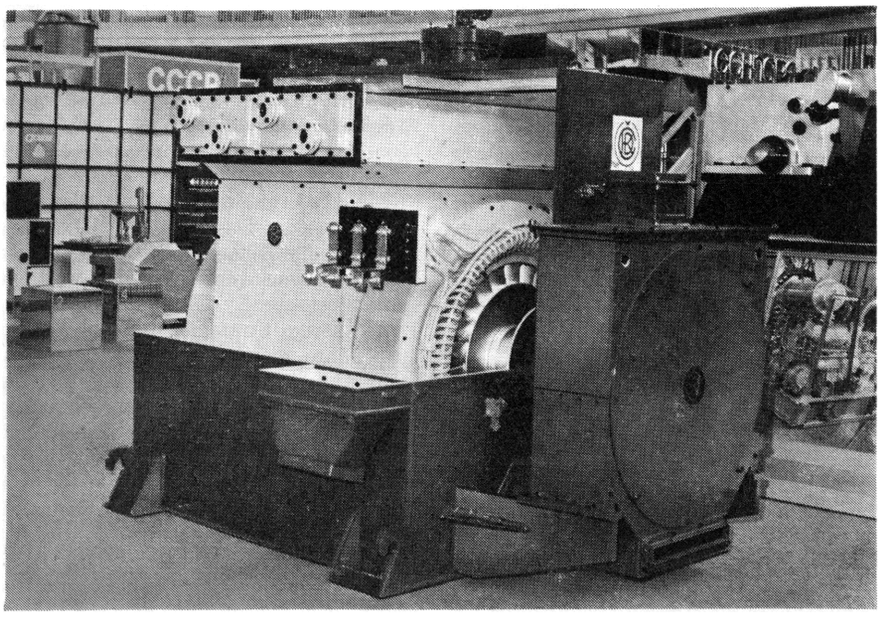
In dicht besiedelten Ländern erlangten die Probleme der Begrenzung des von der Koronaentladung stammenden Geräuschpegels von Hochspannungsleitungen eine dominierende Bedeutung bei der Auswahl und Trassenführung. Diese Probleme werden bereits seit 15 bis 20 Jahren intensiv erforscht.

Die Geräuschpegelmessung an der Wechselstromleitung mit der höchsten Spannung der Welt (1150 kV) wurden mit einem üblichen Geräuschmesser vom Typ 00019 (DDR-Produktion) durchgeführt. Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

Bei Regen ist die Geräuschbelastung am stärksten. Der Lärmpegel ist bei Nebel und Schnee vergleichsweise dazu geringer. Die Form des Frequenzspektrums der Koronageräusche hängt von der Feldstärke auf der Leiterseiloberfläche und den meteorologischen Bedingungen ab. Die Dämpfung der Geräusche quer zur Leitung beträgt für die aufgetretenen Frequenzen 3 bis 4 dB mit Verdopplung der Entfernung (in der Zone bis zu 60 m von der Leitung). In Industriegebieten mit erhöhten atmosphärischen Verschmutzungen sind für 1150-kV-Leitungen mit einem Leiterseilradius kleiner 11,5 mm die Lärmstörungen das entscheidende Kriterium bei der Auswahl der Leiterseile.

E. Broßmann, Berlin EA 2890

Neue Baureihe schnellaufender Hochspannungsmotoren ČKD



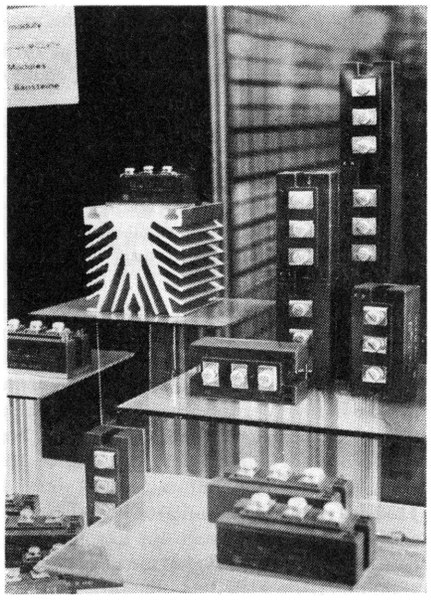
Im Werk ČKD-Elektrotechnik, das dem Staatsunternehmen ČKD Praha angeschlossen ist, wurde eine neue Baukastenreihe von Synchron- und Asynchron-Hochspannungsmotoren entwickelt, die in erster Linie für den Antrieb von Verdichtern und Pumpen in der brennstoffenergietechnischen und chemischen Industrie bestimmt sind. Die Typenreihe besteht aus 39 Motortypen, von denen 21 Synchron- und 18 Asynchronmotoren sind, und deckt den Leistungsbereich von 1250 bis 10000 kW bei Asynchron- und 800 bis 16000 kW bei Synchronmotoren, die als vier- und sechspolig konstruiert sind.

Unsere Abbildung zeigt einen dieser Wechselstrommotoren, den mit 4B 226-04 HWI bezeichneten Synchronmotor. Seine Leistung beträgt 3150 kW, Spannung 6 kW, Drehzahl 1500 min^{-1}. Der Motorläufer läuft in zwei, in den Stirnwänden der Fundamentwanne eingebauten Gleitlagern. Bei einem Schmierungsausfall ermöglicht die Art der Lagerschmierung einen sicheren Maschinennachlauf während weiterer 20 min. Für die Temperaturfernmessung und die Motorlaufsignalisation sind in den Ständerwicklungen, Lagern und im Warm- und Kaltluftkreislauf Temperaturgeber angeordnet.

Beim Konstruieren der neuen Motorenbaukastenreihe, die die Bezeichnung „Schnellaufende Asynchron- und Synchronwechselstrommotoren der 4. Reihe ČKD-E" trägt, wurden vier neue tschechoslowakische Patente angemeldet, die eine neuartige Auslegung des Stators, Verbesserung der Isolierung und den Lagereinbau betreffen. An der Prototypentwicklung beteiligte sich außer ČKD auch die technische Hochschule in Prag. Nähere Informationen über die neue Typenreihe erteilt das Außenhandelsunternehmen Pragoinvest, Prag.

EK 4033.2

Leistungstransistoren und potentialfreie Transistormodule ČKD



Das dem Staatsunternehmen ČKD PRAHA angeschlossene ČKD-Halbleiterwerk zählt zu den bedeutenden Herstellern von Leistungselektronik und hält beispielsweise bei Schalttransistoren und potentialfreien Transistormodulen Schritt mit vergleichbarer Produktion der namhaften japanischen Firmen Toshiba und Fuji. Transistoren gehören zu den vollsteuerbaren Halbleiterbauelementen und eigenen sich insbesondere für Stromrichter mit Speisegleichspannung, wie Pulsstromrichter, Frequenzwechsel- oder -umrichter. Sie beheben dabei die Nachteile der bisher benutzten Thyristoren, d.h. die zur Thyristorausschaltung erforderlichen Kommutierungsschaltungen. Die Vorteile der Transistoren werden durch potentialfreie Module vervielfacht, die die Montage mehrerer, mit unterschiedlichen Spannungen arbeitender Bauteile auf einen gemeinsamen Kühler ermöglichen.

Das breiteste Einsatzfeld finden die Leistungsschalttransistoren bzw. potentialfreien Module in Frequenzumrichtern. Es handelt sich hauptsächlich um Stromrichter für die Antriebe von Wechselstrommotoren für Ersatzstromquellen, aber auch für Antriebe von Gleichstrommotoren in Einrichtungen mit Gleichstromspeisequellen. Die Spannungs- und Strombelastbarkeit der Transistoren und potentialfreien Module ermöglicht den Stromrichterbau im Leistungsbereich von 5 bis 75 kW ohne Parallelschaltung der Bauelemente.

Die Schalttransistoren und potentialfreien Module sind Voraussetzung für das Konstruieren von Stromrichtern neuer Konzeption mit Mittelfrequenzkreis, die durch außergewöhnliche Kennwerte gekennzeichnet sind. Als Beispiel sei die Transistorschweißstromquelle WST 400 mit stufenlos einstellbarem Schweißstrom innerhalb von 15 bis 400 A genannt. Im Vergleich zu Apparaten mit vergleichbarem Leistungsvermögen von anderen Herstellern überzeugt diese tschechoslowakische Schweißmaschine unter anderen Vorteilen durch die weit niedrigere Masse und die kleineren Abmessungen. Nach diesem Prinzip lassen sich auch Stromrichter für das Laden von Akkumulatoren für die Galvanotechnik, Medizin und andere Zweige bauen.

Nähere Auskünfte über diese Möglichkeiten erhalten Sie vom Außenhandelsunternehmen Pragoinvest, das auch Exporteur von Einrichtungen und Bauelementen von ČKD ist.

EK 4033.1

BUCHER

Elektrische Isoliertechnik

Von *M. Kahle*. 1. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1988; 360 Seiten, 311 Bilder, 30 Tafeln. Kunstleder 36,— M

Dem Autor — einem international anerkannten Fachmann auf den Gebieten der festen Isolierstoffe und der Festkörperisolierungen — ist es gelungen, das umfangreiche Gebiet der Hochspannungs-Isoliertechnik modern systematisiert und tiefgründig darzustellen. Die nachstehend aufgeführten Überschriften der Hauptabschnitte vermitteln das breite Spektrum der behandelten Probleme:

1. Aufgaben und Bedeutung der elektrischen Isoliertechnik (6 Seiten)
2. Belastungen von Isolierungen und Beanspruchung der Isolierstoffe (23 Seiten)
3. Isoliervermögen von Isolierungen und deren Einflußgrößen (191 Seiten)
4. Schutz der Isolierungen und Diagnose des Isoliervermögens (36 Seiten)
5. Auslegung, Konstruktion und Technologie von Isolierungen (81 Seiten).

Kernstück des Buches sind der Abschnitt zum Isoliervermögen und darin wiederum die interessanten Darlegungen zu den Leitungs- und Durchschlagvorgängen von festen Isolierstoffen.

Nach dieser „problemorientierten" Darstellung der Hochspannungs-Isoliertechnik schließt das Buch mit einem „objektorientierenden" Abschnitt über „Auslegung, Konstruktion und Technologie von elektrischen Hochspannungs-Isolierungen" ab.

Für eine Einführung ist ein solcher Abschnitt sicher notwendig; mit dem Zwang, sich zu beschränken, kann aber nur" ... auf die grundsätzlichen Probleme und Lösungen hingewiesen werden".

Es ist zu empfehlen, daß sich zur Thematik dieses Abschnitts eine Reihe „objektorientierter" Fachbücher entwickelt, die aufbauend auf der vorliegenden Einführung „Elektrische Isoliertechnik" zeigt, wie die praktische Isolierungen zu modellieren sind und wie damit Erkenntnisse der Isoliertechnik auf diese Isolierungen anzuwenden sind.

Das Buch „Elektrische Isoliertechnik" ist nützlich für Studenten und Ingenieure der Praxis, die sich damit befassen, wie Isolierungen zu konstruieren, herzustellen oder zu betreiben sind oder die verstehen wollen, wie man diese Aufgaben immer besser lösen kann. Der Ingenieur in der Aus- und Weiterbildung, an den sich das Buch lt. Vorwort in erster Linie wendet, oder der Student der Elektrotechnik werden aus dem gründlichen Studium des Buches großen Nutzen ziehen können. Sie werden erkennen, daß Isolierungen einer Vielzahl von unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt und nicht nur hinsichtlich der Spannungsbelastung zu bemessen sind. Sie erfahren, wie wichtig die Statistik zur Beschreibung der Eigenschaften von Isolierungen ist; sie lernen, wie man aus der Belastung der Isolierung (durch die Spannung) die Beanspruchung der Isolierstoffe (durch die Feldstärke) mit Hilfe der Potentialgleichung ermittelt. Es wird deutlich, auf welche vielfältigen physikalischen Grundlagen (Gasentladungsphysik, Festkörperphysik) die elektrische Isoliertechnik beruht und daß zur Beherrschung der isoliertechnischen Probleme auch spezielle Diagnose sowie Hochspannungsprüf- und meßtechnik notwendig ist und sich dieses Gebiet gegenwärtig stürmisch entwickelt.

H. Böhme, Dresden EA 4040

Jahrbuch Elektrotechnik

Von *A. Grütz* (Hrsg.). Berlin, Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1988. 430 Seiten, 70 Bilder, 36 Tafeln

Die 7. Ausgabe des Jahrbuches hat den gleichen Aufbau wie seine Vorgängerausgaben und informiert über Neuerungen in der Technik sowie auf ausgewählten Gebieten der Elektrotechnik und gibt Daten, Fakten und zu erwartende Trends an.
Der Fachgebietsteil beschäftigt sich in sechs Kapiteln mit einer Vielzahl hochaktueller technischer Beiträge namhafter Autoren der BRD zu folgenden Themenbereichen:

— Automatisierung
— Kommunikationstechnik
— Mikroelektronik
— Antriebstechnik
— Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung.

Im Bereich der Automatisierung wird über die Fabrik der Zukunft durch Einführung von automatisierten rechnerintegrierten Fertigungskomplexen (CIM), deren organisatorischen und technischen Voraussetzungen durch strenge Gliederung der Produktionsprozesse in Hierarchieebenen sowie über die Vorbereitung, den Aufbau und die Durchführung der Verfahrens- und Fertigungsketten durch optimierten Einsatz von Rechnern berichtet. Dabei werden praktische Beispiele der Hard- und Software-Entwicklung für CIM und neue CAD/CAM-Büroarbeitsplätze bis zur rechnerunterstützenden Qualitätssicherung genannt.
Auf dem Gebiet der Kommunikationstechnik werden die Möglichkeiten und Auswirkungen der neuen Bürokommunikation (Automatisierung) durch den Einsatz von multifunktionalen Telekommunikationstechniken (Bildfernsprechen, Bildschirmtexte, Grafikübertragung, Fernkopieren) beschrieben und dargestellt, wie sich die Tätigkeiten und Aufteilung der Arbeitsaufwandszeiten im Büro der Zukunft wandeln werden. Desgleichen wird das für die Anwendung der neuen Telekommunikationsdienste notwendige verbesserte integrierende Digitalübertragungsnetz der Fernmeldeverwaltung der BRD, (ISDN) vorgestellt, deren Merkmale und Anschlußmöglichkeiten aufgezeigt sowie die neuesten elektronischen Sprachdialogsysteme (Ein- und Ausgaben) für den Telekommunikations- und Computerbetrieb vorgestellt.
Im Bereich der Mikroelektronik als Schlüsseltechnologie unserer Zeit sind dagegen ausführlich die neuen Gebiete

— Halbleiter-Dünnschichtverfahren für Sensoren
— Schaffung künstlicher Intelligenz als Herausforderung an die Großintegrationstechnik
— Unterschiede und Lösungsmöglichkeiten bei der Realisierung von automatisierten VLSI-Entwürfen oder zweidimensionalen integrationsgerechten Systementwürfen für integrierte Schaltungen

beschrieben. Die Fortschritte im Bereich der Antriebstechnik werden durch den breiten Einsatz der Halbleiter-Leistungsbauelemente, durch vorgestellte Lösungen neuer Schaltungen für Steller bzw. Drehstromantriebe mit Transistorwechselrichtern und mit der Anwendung analog-digitaler Ansteuerverfahren für Drehstrom-Umrichter im 5. Abschnitt eindrucksvoll aufgezeigt.
Der weitere Teil des Buches ist dem Bereich Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung sowie dem aktualisiertem BRD-Normennachschlagewerk gewidmet. Es wird in bewerter Weise informiert über

— Zusatzschutz als dritte Schutzebene gegen gefährliche Körperströme
— Ortsveränderliche Schutzschaltgeräte zur Erhöhung des Schutzpegels an Steckdosen
— Verschiedene Kontaktwiderstandsverhalten von Kontaktstellen und Sicherungen
— Stand der Bearbeitung der Errichtungsvorschriften für elektrotechnische Anlagen bis 1000 V in der IEG, CENELEC, BRD, Großbritannien, Frankreich, USA, u. a.

H. Kloust, Berlin EA 2880

OCCAM 2. Die Programmiersprache für parallele Verarbeitung. Ein Einführungs- und Nachschlagwerk

Von *R. Steinmetz*. 2., überarbeitete Auflage. Heidelberg: Hüthig-Verlag 1988. 130 Seiten

OCCAM ist eine prozedurale Sprache, für deren Entwicklung wohl zwei Gesichtspunkte ausschlaggebend waren: die Abbildbarkeit auf die Hardware der Transputer und die Kommunikation sequentieller Prozesse. OCCAM unterscheidet sich von sequentiellen Sprachen qualitativ dadurch, daß durch Attribute Anweisungen als „parallel abarbeitbar" ausgezeichnet werden können und dadurch eine Sequentialisierung dort nicht erfolgen muß, wo Parallelität in der Natur der Sache liegt (etwa bei der Behandlung von Interrupts).
Der Autor stellt in dem Buch die Sprache vor und folgt dabei „klassischen" Vorbildern: Zeichenvorrat, prinzipielle Programmstruktur, Spezifikationsteil, Ausdrücke, einfache und strukturierte Anweisungen, Prozesse, Prozeduren und Funktionen. Abschließend wird gezeigt, wie in OCCAM-Programmen Deadlocks verhindert werden können. Bei diesen Betrachtungen werden Beziehungen zwischen OCCAM-Konstruktionen und Petrinetzstrukturen herangezogen.
Die Darstellungen sind klar, Beispiele und Skizzen dienen der Veranschaulichung von

Sprachelementen und ihrer Wirkung. Das Buch ist sprachorientiert, d.h., daß implementationsspezifische Besonderheiten nicht diskutiert werden. Zugrundegelegt wurden der Sprachbeschreibung die formale Spezifikation von *D. May* (1987) und das Reference Manual der Fa. INMOS (1988).
Leser mit Vorkenntnissen über höhere Programmiersprachen können sich an Hand des Buches gut in die Denkweise der OCCAM-Programmierung einarbeiten.

G. Paulin, Berlin EA 4039

Jahrbuch zum VDE-Vorschriftenwerk 1988

Neues über VDE-Bestimmungen und VDE-Leitlinien

Von *A. Warner*, Berlin-Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1988. 387 Seiten, 10 Bilder, 10 Tafeln

Das vorliegende Jahrbuch erschien zum dritten Mal im Rahmen der VDE-Schriftenreihe und führt den 1984 eröffneten Informationsdienst auch im Jahre 1988 weiter. Es soll, wie seine Vorgängerausgaben, über die den Stand der Technik angepaßten technischen und sicherheitstechnischen Bestimmungen und anderen Regeln der veränderten VDE-Vorschriften informieren und allen interessierten Elektroingenieuren und Praktikern die notwendigen Erläuterungen dazu geben.
Das Jahrbuch 1988 enthält und erläutert die nachfolgenden, besonders ausgewählten Themenkomplexe:

— Kurzfassungen der zwischen April 1987 und März 1988 in Kraft gesetzten Erst- und Folgeausgaben zum VDE-Vorschriftenwerk der Bereiche
• Energieanlagen (VDE 0100, 0105, 0170/0171, 0199)
• Energieleiter und Isolierstoffe (VDE 0228, 0261, 0273, 0281, 0289, 0293, 0298, 0306)
• Messen, Steuern, Prüfen (VDE 0403, 0413, 0471, 0472)
• Maschinen und Umformer (VDE 0530, 0532, 0558, 0559)
• Installationsmaterial und Schaltgeräte (z.B. VDE 0620, 0660, 0670, 0683)
• Gebrauchs- und Arbeitsgeräte (VDE 0700, 0701, 0745)
• Informationstechnik (VDE 0816, 0838, 0843, 0845, 0876, 0884, 0888, 0899)
— Inkraft- bzw. Außerkraftsetzungskalender mit Angabe der im Zeitraum April 1987 bis 1988 je Monat in Kraft gesetzten bzw. zurückgezogenen Vorschriften.
— Aktuelle Mitteilungen zum VDE-Vorschriftenwerk, z.B. zur Überspannungsfestigkeit elektronischer Betriebsmittel, neuen genormten Nennspannungen für Niederspannungs-DS-Netze und Betriebsmittel, zu Unfällen durch medizinisch-technische Geräte, Berichtigungen und Ermächtigungen zu VDE-Bestimmungen sowie die Bekanntmachungen von Europanormen (EN) und Harmonisierungsdokumenten (HD) der Listen 9 bis 12, die durch das (West)Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) bestätigt wurden.
— Kurzcharakteristika zu 109 Beiträgen und Büchern über neue bzw. geänderte VDE-Vorschriften und analogen Regelwerken auch anderer Länder. Allgemein interessant sind die Veröffentlichungen:
• Einführung in VDE 0660 Teil 500; Schaltgeräte- und -kombinationen
• Internationale Normung von speicherprogrammierbaren Steuerungen
• EG-Richtlinien zur Produzentenhaftung aus der Sicht der Ersteller technischer Regeln
• Qualitätssicherung in der elektrischen Anlagentechnik
• Bildschirmarbeitsplätze
• Laser, Sicherheitstechnische Festlegungen für Lasergeräte und -anlagen; Normen
• Vergleichsschutz von Hochspannungsleitungen nach dem Ladungsverfahren
• Lichtwellenleiter in Hochspannungs-Leitungstrossen
• Überspannungsschutz für elektronische Datenverarbeitungsanlagen
• Kabel und Leitungen für die Starkstromtechnik
• Schalt- und Umschaltstationen mit gasisolierten Schaltanlagen.

Das vorgestellte VDE-Jahrbuch endet mit den neuesten schweizerischen Verordnungen über Niederspannungserzeugnisse und einem technischen Stichwortverzeichnis. Es kann auch für DDR-Fachleute als wertvolles Nachschlagewerk für die gültigen Vorschriften der BRD und deren Interpretationen auch bei der Anfertigung von technischen Weltstandsvergleichen und Standardanalysen dienen.

H. Kloust, Berlin EA 3022

Schnelle integrierte DA- und AD-Wandler und Messen ihrer Kennwerte

Autorenkollektiv. Moskau: Verlag Radio i swjas 1988. Russisch. 224 Seiten, 196 Bilder, 16 Taf. Kunstleder 6,— M.

Die wachsenden Anforderungen an die Geschwindigkeit und die Genauigkeit von informationsverarbeitenden Baugruppen haben sich notwendigerweise auf den Entwurf und die Entwicklung von einer Reihe von hybriden oder monolithisch integrierten AD- bzw. DA-Wandlerschaltkreisen breiter Anwendung ausgewirkt. Während in der ersten Etappe (1965 bis 1975) der Entwicklung der integrierten Mikroelektronik vornehmlich Schaltkreise niedrigen und mittleren Integrationsgrades für den Einsatz in EDVA hergestellt wurden, ist die nachfolgende Etappe (ab 1976) durch die Steigerung des Integrationsgrades und der bereitgestellten Stückzahl gekennzeichnet. Außerdem wurde das Spektrum der Analog- und Spezialschaltkreise breiter Anwendung wesentlich erweitert, so daß heutzutage der Einzeltransistor fast nur noch im Leitungsbereich eingesetzt wird.
AD- und DA-Wandlerschaltkreise sind hochintegrierte Chips, die viele digitale und analoge Funktionsbaugruppen (mehrstufige Schalter, Verstärker, Komparatoren, Referenzspannungsquellen, Widerstandsmatrizen, Steuerlogik, Speicher) auf einem Halbleiterkristall vereinen. Infolge des monolithischen Prozesses entstehen für den Nutzer einige Vorteile, die in diskreter Schaltungstechnik nicht erreichbar sind. Zu den Vorteilen sind der hohe Temperatureinsatzbereich, die hohe Konstanz der Wandlerkennlinie, die hohe Auflösung und die hohe Zuverlässigkeit zu rechnen.
Mit dem vorliegenden Buch geben sowjetische Spezialisten einen Einblick in das Schaltkreisspektrum schneller integrierter DA- und AD-Wandler nationaler Produktion. Anhand von Blockschaltbildern, Ausschnitten des Stromlaufplanes und vieler gemessener Kennlinien werden schaltungstechnische Eigenheiten diskutiert und Vorzüge und Grenzen konkreter Schaltkreise kritisch beleuchtet. Im Mittelpunkt der Diskussion der statischen und dynamischen Kennwerte stehen die spezifischen Wandlerkennlinien und die daraus resultierenden Fehler und Ungenauigkeiten bei der Informationsverarbeitung. Für die ausländischen Fachleute ist das Buch eine reichhaltige Schaltungsinformation mit zahlreichen Applikationshinweisen für die Schaltkreisserien

K594IIA1, K1108IIA, K11108IIA,
K572IIA und K1107IIB,
K572IIB, K1113IIB

u.a. Mit diesem Angebot wird ein Frequenzbereich bis über 100 MHz abgedeckt. Erfreulicherweise sind über 50% des Buchumfanges den meßtechnischen Problemen zum Nachweis der statischen und dynamischen Kennwerte der Wandlerschaltkreise während der Produktion und bei der Wareneingangsprüfung gewidmet. Testschaltungen aus der Praxis werden vorgestellt und hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit eingeschätzt.
In einem abschließenden Abschnitt werden die Entwicklungstendenzen auf diesem Schaltungsgebiet hinsichtlich funktioneller Erweiterungen, Erhöhung der Geschwindigkeit, Senkung der Verlustleistung und Automatisierung der Überwachung des Herstellungsprozesses aufgezeigt. Das Buch ist eine wertvolle Applikationsunterstützung für Baugruppen- und Prüfgeräteentwickler. Außerdem gibt es detaillierte Hinweise für den Nachweis statischer und dynamischer Kennwerte an der Nahtstelle zwischen Halbleiterindustrie und Geräteentwickler.

G. Turinsky, Karl-Marx-Stadt EA 3083

Abtastregelungen

Von *J. Ackermann*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 3. Auflage 1988. 475 Seiten, 114 Bilder

Das bekannte Fachbuch, das nun in 3. Auflage vorliegt, enthält in zusammengefaßter Form den internationalen Stand der Theorie der Abtastsysteme mit einigen bemerkenswerten speziellen Akzenten. Es ist in der Sprache des Ingenieurs geschrieben, vermeidet entbehrliche theoretische Abhandlungen, verbindet mathematische Darstellungen mit anschaulichen Erläuterungen und enthält in größerer Zahl durchgerechnete Beispiele. Abtastsysteme sind heute vor allem digitale Regelungen auf der Basis von Mikrorechnern, die auch in der energetischen Elektrotechnik rasch an Bedeutung gewinnen. Für dieses Fachgebiet ist das von *Ackermann* vorgelegte Buch eine wertvolle Grundlagenarbeit. Nach einer Einführung in die Abtastregelungen wird zunächst als Bezugsbasis für die wei-

teren Darstellungen die Theorie kontinuierlicher Systeme zusammengefaßt, ehe im Abschnitt „Modellbildung und Analyse von Abtastsystemen" die Grundlagen der Theorie der Abtastsysteme im Zeitbereich und im Frequenzbereich dargelegt werden. Viele interessante Details enthalten insbesondere die folgenden Abschnitte über Steuerbarkeit, Polvorgabe, Wahl der Tastperiode sowie über Beobachtbarkeit und Beobachter. Sie enthalten wichtige Fragen des Entwurfs digitaler Regelungen einschließlich der durch Stellgrößenbegrenzung, Modellvereinfachungen usw. gegebenen Einschränkungen.

Die Abschnitte über Regelkreissynthese und über Mehrgrößenregelsysteme beanspruchen für die aktuelle Entwicklung besonderes Interesse. Sie schließen Aussagen zur Modellunsicherheit, zur Stellgliedauswahl und zur Sensorauswahl ebenso ein wie Probleme des Entwurfs robuster Regelungen und der Zustandsvektor-Rückführung.

Mathematische Grundlagen wie Matrizen-Theorie, z-Transformation, Stabilitätskriterien werden als Handwerkszeug in Anhängen bereitgestellt. Durch die Klarheit der Darstellung und die komprimierte Formulierung aktueller Sachverhalte ist das Buch eine wertvolle Hilfe für die Aus- und Weiterbildung von Spezialisten. Es wird sicher die weitere Entwicklung des Fachgebietes befruchten.

R. Schönfeld, Dresden EA 3073

Bussysteme in Mikrorechner-automatisierungsanlagen

Von *J. Sawatzky*, Heft 16 der Schriftenreihe der Betriebssektion der KDT des VEB GRW „Wilhelm Pieck" Teltow 1986, 86 Seiten, 48 Bilder, 7 Tafeln, 64 Lit., Broschur, 8,— Mark

Der im Jahre 1986 mit der Barkhausen-Medaille für die Verteidigung einer der besten Dissertationen auf technischem Gebiet in der DDR geehrte Autor legt nunmehr mit dem Heft 16 eine längst fällige Monographie zur Problematik der busgebundenen Datenübertragung vor.

Dezentral strukturierte mikrorechnergestützte Automatisierungsanlagen basieren auf der digitalen Informationsverarbeitung, -übertragung und -speicherung. Die digirale serielle Informationsübertragung wird in derartigen Strukturen durch Bussysteme realisiert.

In der Broschüre geht der Autor auf

— Stellung und Bedeutung der seriellen Datenübertragung in Automatisierungsanlagen
— Strukturen und Funktionen der Bussysteme
— das Schichtenmodell der Datenübertragung
— Standardisierung von Datenübertragungssystemen
— ausgewählte Anlagenbussysteme
— Entwicklungstendenzen bei Anlagenbussystemen.

ein. Ausgehend von dem im Prozeßleitsystem „audatec" des VEB GRW „Wilhelm Pieck" Teltow verwendeten audatec-Bussystem, werden die Parameter leistungsfähiger Anlagenbussysteme ausgewählter internationaler Prozeßleitsysteme miteinander verglichen. Auf Notwendigkeit, Stand und Perspektive der Standardisierung von digital-seriellen Datenübertragungssystemen wird eingegangen. Der Autor schätzt ein, daß neben den weitverbreiteten Anlagenbussystemen die Feldbussysteme zunehmend an Bedeutung gewinnen werden.

Abgerundet wird die Broschüre durch ein Abkürzungs-, Bild- und Tafelverzeichnis sowie ein umfangreiches Literaturverzeichnis. Ein Sachwortverzeichnis mit der Möglichkeit des kurzfristigen Einstiegs in die anspruchsvolle Thematik wird allerdings vermißt.

L. Blackert EA 3006

Zielwirksam schreiben

Von *Rudolf Neumann*. 3. durchgesehene Auflage. Sindelfingen: expert verlag 1986. 443 Seiten, zahlreiche Bilder, etwa 30 Lit.

„Man ‚drückt' sich davor, ... Gebrauchstexte zu schreiben. Helfen kann in einer solchen Situation ... dieses hier liegende Sachbuch". So der Autor in der Einleitung. Und unter dem Stichwort *Buchbesprechung* findet der Leser und der Rezensent — „Zielsetzung, es sei das kommunikative Richtziel: ... den Leser zwar zu informieren, ihn aber vor allem in seiner Meinung beeinflussen zu wollen, ihm ‚die Augen zu öffnen' ..." Unter *Darstellungsweise* einer Rezension wird dann angeboten: „1. sachlich informierend, 2. kritisch-wertend, 3. interesseweckend 4. geistreich, 5. persönlich-getönt, 6. knapp. Zum *Textumfang* „10 bis 60 Schreibmaschinenzeilen". Ich entscheide mich für 1, 2 und 5.

Die acht Kapitelüberschriften lauten: Zielwirksam schreiben — aber wie? (6 Seiten); Im Vorfeld zielgerichteter Text-Planung (320); Zielgerichtete Text-Planung (13); Zielbezogene Text-Realisierung (45); Zielbezogene Text-Beurteilung (7); Vom Stil zum Individual-Stil (30); „Schlußbilanz" ziehen? (2); Anhang (10). Aus den angegebenen Seiten-Angaben ist ersichtlich, daß es hier im wesentlichen um die Text-Planung geht. Hier fällt es dem Leser schon schwer, den Autor zu verstehen, wenn er hier im Inhaltsverzeichnis liest: „Grobziele", „Feinziele", „Sinn und Vorteile des Grundwissens", „Zum Leser", „Verhaltensorientiertes Beeinflussungsmodell". „Bewußt-kraftvolle Befreiung vom Stil-Vorbild".

Es ist kein einfacher Text, dem der Autor durch fehlende Text-Verdichtung, Systematisierung und strukturelle Klarheit des Stoffes aus dem Wege geht. Ein wissenschaftlicher „Lehrbrief" im weitesten Sinne — kein Nachschlagwerk mit schnellen Antworten — jedoch mit zahlreich nützlichen (zu zahlreichen, diagrammbelegten) Erkenntnissen, Empfehlungen und partiell aktuellen Beispielen.

H. Weichardt, Berlin EA 2868

Wechselstrom-Kraftwerke in Deutschland: der Übergang vom Gleich- zum Drehstrom

Von *Kurt Jäger* (Hrsg.). Berlin; Offenbach: vde-verlag 1987. 152 Seiten, zahlr. Abb. und Tafeln, Kartoniert.

Die moderne Gestalt und Funktion der Technik ist ohne die Kenntnis ihres geschichtlichen Werdens nur schwer zu begreifen. So existiert die Elektrotechnik nicht um ihrer selbst willen, immer steht sie im Spannungsfeld gesellschaftlicher Bedürfnisse und ist auf der Suche nach Mitteln, diesem Bedürfnis zu entsprechen.

Mit dem 5. Band der Buchreihe „Geschichte der Elektrotechnik" wird erstmals ein bedeutendes Kapitel dargestellt. Es betrifft die Geschichte der Wechselstrom-Kraftwerke.

Während die ersten Stromversorgungsanlagen ausschließlich mit Gleichstrom arbeiteten, bildeten die Wechselstrom-Kraftwerke das Bindeglied zu den modernen Großkraftwerken, die durchweg Drehstrom erzeugen.

Dadurch, daß die Gleichstromversorgung an eine relativ niedrige Generatorspannung gebunden war, konnten aus Gründen effektiver Energieübertragung nur jene Verbraucher bedient werden, die sich in unmittelbarer Nähe der Energieerzeugungsanlage befanden. So ermöglichten es erstmals die Wechselstrom-Kraftwerke, die Stromerzeugung dezentral am Rande der Städte anzusiedeln. Damit ließ sich die Stromversorgung auch in Ballungsgebieten an einer Stelle konzentrieren und über ein Verteilernetz an den Verbraucher heranführen.

Mit der mutigen Entscheidung für Wechselstrom wurde nach langjährigem Grundsatzstreit um das Für und Wider beider Systeme eine tragfähige Grundlage für die weitere Entwicklung der Elektroenergieversorgung getroffen, in der sich auch bald an Stelle des einsphasigen Wechselstroms der Drehstrom durchzusetzen begann.

Den Autoren ist es auf der Grundlage profunder Geschichtskenntnisse gelungen, dem Leser den Gang der Elektroenergieerzeugung und ihrer Verteilung aufzuzeigen. Das Lesen des Buches bereitet außerordentlichen Genuß, man wird in jene Zeit der Herausbildung der Elektrotechnik zurückversetzt und spürt das Wechselspiel der Kräfte. Zahlreiche Episoden, die auf Expertenmeinungen und Zeitungsberichten jener Jahre fußen, wie Darstellungen, Skizzen und Bilder ergänzen in lebendiger Weise die technikhistorischen Betrachtungen.

Im ersten Kapitel gibt *K. Ose* eine Übersicht über die gesamte Epoche. Die Ausführungen werden durch Tabellen und Statistiken ergänzt, wobei man die mit wissenschaftlicher Akribie betriebenen historischen Darlegungen als besonders nützlich empfindet. Vom Beginn der Gleichstromerzeugung mit Induktionsmaschinen, der bahnbrechenden Erfindung der Glühlampe durch Edison und den dadurch in Gang gekommenen Bau erster öffentlicher „Zentralen" für die Stromversorgung wird der Leser zu den bereits technisch perfekten Wechselstrom-Kraftwerken hingeführt. Allerdings bleibt die bisher in der Technik-

geschichtsschreibung unzureichende Klärung der Wahl einer geeigneten Wechselstromfrequenz in Anfängen stecken. Sie wird in einer der folgenden Publikationen dieser Reihe in Aussicht gestellt.

In zwei weiteren Kapiteln werden von *G. Buse* und *U. Spix* die Entstehung des Wechselstrom-Kraftwerkes Kassel sowie von *W. Hübschmann* die Anfänge der Kölner Elektrizitätsversorgung mit Wechselstrom beschrieben. Im Spannungsfeld technischer, ökonomischer und sozialer Standpunkte werden dem Leser mit lebendigen Darstellungen beinahe Detailfragen der Anlage, ihrer Betriebsführung sowie ihrer Wirtschaftlichkeit offenkundig. Zwangsläufig wiederholen sich einige Fakten, die von vorhergehenden Autoren bereits erhellt worden sind.

In einem abschließenden vierten Kapitel wird von *K. Jäger* die Geschichte des Elektrizitätswerkes Frankfurt am Main dargestellt. Obwohl gerade in Frankfurt am Mai 1891 die enorme Leistungsfähigkeit des Drehstroms mit einer 175 km langen Drehstrom-Übertragung von Lauffen am Nekkear nach Frankfurt anläßlich der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung gezeigt werden konnte, hat sich auch hier 1894 zunächst ein Wechselstrom-Kraftwerk etabliert. Die Hintergründe einer solchen Entscheidung hat der Autor überzeugend aufgedeckt.

Das Buch wendet sich aufgrund der allgemeinverständlichen technikhistorischen Thematik, ebenso wie seine Vorgänger, an einen breiten Leserkreis.

P. Schubert, Dresden EA 3081

Basiswissen der Elektronik Band 9: Regelungstechnik

Von *D. Benda*. Berlin, Offenbach: vde-verlag 1988. 1. Auflage, 126 Seiten. Broschur

Anliegen der Buchreihe „Basiswissen der Elektronik" ist die Vermittlung von Grundwissen. Der Autor bemüht sich, dem potentiellen Leserkreis die Grundlagen der Regelungstechnik praxisnah zu vermitteln.

An Hand eines einfachen Beispiels werden die Grundlagen der Regelungstechnik erläutert und Begriffe definiert. Mit vielen Beispielen werden Grundstrukturen und Schaltungen nahegebracht. Hervorzuheben ist, daß der interessierte Leser einige vollständig dimensionierte Schaltungen mit wenig Mitteln selbst nachbauen kann und so vor allem im Selbststudium tiefer in die Materie einzudringen in der Lage ist. Besonders gut dürfte sich für dieses Anliegen die im Kapitel 7.2. beschriebene Nachlaufregelung mit Blockierschutz eignen, mit der das im Kapitel 3 behandelte Zeitverhalten von Regelkreisen untersucht werden kann. Wichtige Bauelemente der Regelungstechnik sind in ihrer Struktur anschaulich dargestellt und hinsichtlich ihres Einsatzes im Regelkreis beschrieben.

Das Buch ist vor allem für Praktiker geschrieben. So ist zwar auf den ersten Blick störend, daß für die Schaltbeispiele nicht durchgängig die gleiche Symbolik verwendet wird (z. B. Darstellung der IC 74121 im Bild 7.17 und Bild 7.18). Jedoch gerade der Praktiker wird oft mit Plänen konfrontiert, die eine Vielzahl von Darstellungsarten aufweisen. Ein Hinweis für den Studierenden, sich der IEC-Symbolik zu befleißigen und eine Korrospondenztabelle hätten das Buch sinnvoll ergänzt.

Etwas unglücklich gewählt ist auch die Beschreibung eines Spannungsreglers an Hand einer Spannungsstabilisierungsschaltung mit der Basis-Emitter-Spannung des Leistungstransistors als Stellgröße.

Erst das darauf folgende Beispiel läßt den Leser die Struktur des Regelkreises klar erkennen.

Dennoch ist das Buch für den genannten Leserkreis eine wertvolle Hilfe bei der praktischen Arbeit.

J. Ermisch, Dresden EA 3069

Petri-Netze in der Steuerungstechnik

Von *R. König* und *L. Quäck*, Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 1. Auflage, Leinen, 28,— Mark

Das Konzept der Petri-Netze, obwohl erst vor wenigen Jahren eingeführt, hat sich als außerordentlich fruchtbar erwiesen. Seine Ausarbeitung erfolgte weitgehend im Bereich der mathematischen Logik, so daß zwar einerseits eine hervorragende Fundierung gegeben ist, andererseits der Nichtmathematiker häufig nur schwer Zugang findet. Der große Erfolg der Petri-Netze beruht letztlich auf ihrer variablen Interpretierbarkeit. Damit ist seine Nutzung als Beschreibungsmittel in unterschiedlichen Gebieten, u. a. auch in der Steuerungstechnik, potentiell gegeben.

Es ist das große Verdienst der Autoren, mit dem vorliegenden Werk dem Steuerungstechniker die Verwendung der Petri-Netze zur Beschreibung von Steuerungsprozessen und den Entwurf von Steuereinrichtungen zu erschließen. Das gelingt, indem das Wesen dieser Methodik in der Sprache des Steuerungsingenieurs verständlich gemacht wird, er die Grundlagen in dem von ihm benötigten Umfang ohne Verzicht an Exaktheit vermittelt bekommt und schließlich die Überzeugung gelingt, daß nicht nur die bislang geläufigen Beschreibungen, wie Automatengraph bzw. Automatentabelle, Programmablaufplan bzw. -graph sowie Funktionsplan und Steuergraph leicht in interpretierte Petri-Netze überführbar sind, sondern diese Darstellung sogar leistungsfähiger und universeller ist und vor allem zu einem effektiveren Steuerungsentwurf führt.

In weiteren Abschnitten wird dargelegt, wie auch Zeitoperationen in das Petri-Netz-Konzept einbezogen und zeitfreie wie auch zeitbehaftete Steuerungen nicht nur softwaremäßig, sondern ebenso durch eigens dafür ausgelegte Hardware realisiert werden können.

Das Buch ist didaktisch hervorragend angelegt, klar in der textlichen Darstellung, reich mit Grafiken unterlegt und präsentiert sich in einer erfreulich guten technischen Ausführung. Man darf daher den Autoren zu diesem gelungenen Werk, das sicher viele Interessenten finden wird, herzlich gratulieren.

W. Weller, Berlin EA 3025

Das Prozeßleitsystem audatec im Kraftwerk

Von *W. Bargey* und *B. Moltmann*
Heft 20 der Schriftenreihe der Betriebssektion der KDT des VEB GRW „Wilhelm Pieck" Teltow 1989, 63 S., 25 Abb., 9 Tab., 6 Lit., Broschur 8,— M

Das rechnergestützte Prozeßleitsystem audatec wird im Rahmen der Kraftwerksautomatisierung mit dem Ziel eingesetzt,

— maximale Ausnutzung und sparsame Verwendung der angewendeten Energieträger
— hohe Verfügbarkeit des Kraftwerksblocks
— Senkung des Bedien- und Instandhaltungsaufwands
— Erhöhung der Lebensdauer
— Gewährleistung einer ausreichenden Manövrierfähigkeit der Kraftwerksblöcke sowie
— umweltschonende Betriebsweise

zu ermöglichen.

Nach einer grundlegenden Einführung werden in der Broschüre die audatec-Funktionseinheiten im Kraftwerk beschrieben. Besonders ausführlich werden die Basiseinheiten, der Applikationsrechner, der Pultsteuerrechner, der Wartenrechner, der Mikroprozessorregler U 5001 und das Steuerungssystem S 2000 S erläutert.

Den zweiten Schwerpunkt des Heftes bildet die Anwendung des Prozeßleitsystems audatec in Heiz- und Kraftwerken, wobei insbesondere auf die Rekonstruktion von 100- und 210-MW-Kraftwerksblöcke eingegangen wird. Hier findet der Leser Auskünfte über die Automatisierungskonzeption zum Regelungssystem und zu den Aufgaben der eingesetzten Applikations- bzw. Leitrechner.

In gedrängter Form werden die Aussagen dargeboten, durch reiche Bebilderung anschaulich unterstützt und durch ein Abkürzungs-, Tabellen- und Literaturverzeichnis vorteilhaft ergänzt.

Der Nutzerkreis der Broschüre sollte neben Kraftwerkbetreibern unter den Projektanten, dem Inbetriebnahmepersonal von Automatisierungsanlagen sowie denjenigen, die sich im Rahmen der Aus- und Weiterbildung mit der Kraftwerksautomatisierung sowie der Rekonstruktion derartiger Anlagen befassen bzw. die leitungsmäßige Verantwortung übernommen haben, zu suchen sein.

L. Blackert, Teltow EA 3076

Documentation

Oswald, B.

Computing the Characteristic Short-Circuit Current Values by Means of the Initial Short-Circuit Alternating Current

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, pp. 365–368, 2 Figs., 2 Tables, 31 Equations, 8 Refs.

Computing the characteristic short-circuit values is made in the standardized methods by means of the m, n, $\varkappa$ and μ-curves. Though the $\varkappa$- and m-curves and the μ- and n-curves in each case show the influence of the d.c. and a.c. parts of the short-circuit current, the parameters, taken as a base, and the representations are differently. In this paper an uniform representation of $\varkappa$ and m as well as of μ and n is proposed, which also may be used to evaluating the formula in a PC-programme of short-circuit computing.

Winkler, G.; Klose, D.

Computing the Impedances of Power Cables with Personal Computers

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, pp. 368–370. 2 Figs., 4 Refs.

To determining the currents during asymmetric faults in electric energy networks the knowledge of the positive-sequence field impedance, the negative-sequence und the zero-sequence field ones of the network elements is necessary. In this contribution a computing programme for personal computers of computing those values is represented, adapted to all cable types of low and medium voltages. The data are sufficiently, comprised in the characteristic values of the cables. With regard to the conducting construction components 8 fundamental arrangements can be outlined, which result maximally in a 19 conductors problem, and in the fundamental arrangements 12 fundamental variants can be outlined, which differ one to another in the number of conductors and their positions one to each other. The computing programme ROXO is adapted to computers of the 8 bit and 16 bit techniques.

Golletz, F.; Böhme, H.

Reliability and Fault Probability of 110 kV Supporting Insulators during Short-Circuit Loading

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, pp. 370–375, 9 Figs., 4 Equations, 18 Refs.

110 kV Supporting insulators are exposed in the short-circuiting to high mechanic loadings. In this paper it is showed, how starting from the loading and the mechanic-dynamic properties of the systems „cable" and „supporting point" the loading of an 110 kV supporting insulator may be compared with the strength and how with it the reliability may be quantified.

Bauer, H.; Obenhaus, D.

Extending the Function Contents of the Processing Plane for the Switch Plant Control Techniques on Microcomputer Base

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, pp. 375–376, 1 Fig., 2 Tables, 3 Refs.

Starting from the function range of the switch plant control techniques in this contribution the fault recovery computation and disturbing data storing of a switch plant techniques on microcomputer base are described, as well as the necessary realization of the data storing.

Boytscher, B.

Calculating the Effective Neutral Point Earthing in the Partially Rigidly Earthed High-Voltage Network during Neutral Point Changing

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, pp. 377–378, 4 Figs., 4 Equations, 5 Refs.

A method of calculating the effective neutral point earthing in the partially rigidly earthed high-voltage network during neutral point changing is illustrated and a method of the joint study of the neutral point insulating level as well as of the operating conditions and the selectivity of the earthed short-circuit current protection is proposed. The proposed m thod is used e.g. to studying the 110 kV network of the People's Republic of Bulgaria. The analysis of the results, determined by a digital computer Robotron ESER 1040, and the influence of the neutral point changing on the short-circuit current level, the effectivity of the earthing and the operation of the earthed short-circuit current protection are discussed.

Weßnigk, K.-D.; Grießbach, A.

Programme of Digitally Computing the Time Short-Circuit Current Behaviour in Battery-Powered D.C. Networks

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, pp. 379–381, 5 Figs., 17 Equations, 8 Refs.

By means of short-circuit current tests with batteries of the types OF1 and OF2 simplified equivalent circuit diagrams of the batteries were determined with corresponding parameters. To battery-powered d.c. networks a computing programme of determining the short-circuit current behaviour during short-circuit in the d.c. network was developed. Additional feeding through rectifiers and reversible motor generator may be considered approximately in the computation.

Beckert, U.; Neuber, W.

New Method of Digital Speed Measuring

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, pp. 381–384, 4 Figs., 18 Equations, 4 Refs.

A two-step digital speed measuring method for the drive techniques is described, which requires only a simple impulse machine with a mark and a shorter measuring time, compared with the frequency counting measuring; it requires no arithmetic-logic-unit.

Документация

Освальд, Б.

О расчете характерных величин тока короткого замыкания из начального переходного тока короткого замыкания

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 10, стр. 365–368, 2 рис., 2 табл., 31 уравн., 8 лит.

Расчет характерных величин тока короткого замыкания по стандартным методам осуществляется при помощи кривых m, n, $\varkappa$ и μ. Несмотря на то, что кривые $\varkappa$ и m, а также кривые μ и n учитывают постоянную и, соответственно, переменную составляющую тока короткого замыкания, параметры, положенные в основу им и изображения их различаются. Предлагается единое изображение для $\varkappa$ и m, а также для μ и n, позволяющее применение его в целях формульной оценки в рамках программы ПЭВМ для расчета короткого замыкания.

Винклер, Г.; Клоьзе, Д.

Расчет импедансов сильноточных кабелей при помощи персональных компьютеров

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 10, стр. 368–370, 2 рис., 4 лит.

Для определения величин токов при несимметричных ошибках в электроэнергетических сетях необходимо знать значения полного сопротивления прямпй, обратной и нулевой последовательностей. Представляется вычислительная программа для расчета на ПЭВМ указанных величин, пригодная для всех типов кабелей низких и средних напряжений. Для этого достаточны данные, указанные в паспортах кабелей. Относительно их проводящих конструктивных элементов вырисовываются 8 основных схем, приводящих максимально к 19-проводниковой проблеме, а из основных схем — еше 12 основных вариантов, различающихся между собой количеством проводников и их взаимного расположения. Вычислительная программ ROXO может использоваться на 8-разрядных и 16-разрядных компьютерах.

Голлетц, Ф.; Бёме, Х.

Надежность и вероятность ошибок опорных изоляторов 110 кВ при нагрузке током короткого замыкания

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 10, стр. 370–375, 9 рис., 4 уравн., 18 лит.

Опорные изоляторы 110 кВ при наличии короткого замыкания подвергаются значительным механическим нагрузкам. Показывается, каким способом, исходя из нагрузки с учетом механико-динамичных свойств систем „трос" и „опорная точка" обеспечивается сопоставляемость воздействия нагрузки и прочности и, тем самым, возможность количественного определения надежности.

Бауэр, Х.; Обенхаус, С.

Расширение функционального содержания уровня обработки для техники управления распределительными устройствами на базе микро ЭВМ

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 10, стр. 375–376, 1 рис., 2 табл., 3 лит.

Исходя из состава функций техники управления распределительными устройствами описывается расчет расстояний мест повреждения и запоминание данных о повреждениях распределительной аппаратуры управляемой от микро ЭВМ, а также треюемая реализация процесса запоминания данных.

Бойчев, Б.

Оценка действенности заземления нейтральной точки в высоковольтной сети с частично глухым заземлением при смещении нейтральной точки

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 10, стр. 377–378, 4 рис., 4 уравн., 5 лит.

Представляется метод оценки действенности заземления нейтральной точки в высоковольтной сети с частично глухым заземлением при смещении нейтральной точки и предлагается способ совмещенного изучения уровня изоляции нейтральной точки, а также условий эксплуатаии и избирательности защиты от короткого замыкания через землю. Предложенный способ, в частности, применяется для исследования сети 110 кВ в НРБ. Рассматриваются анализ результатов, полученных при помощи ЭВМ Роботрон ЕС ЕВМ 1040 и влияние смещения нейтральной точки на уровень тока короткого замыкания, на действенность заземленя и работу защиты от короткого замыкания через землю.

Весник, К.-Д.; Грисбах. А.

Программа для численного расчета временной характеристики короткого замыкания в сетях постоянного тока с питанием от аккумуляторных бататей

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 10, стр. 379–381, 5 рис., 17 уравн., 8 лит.

На базе исследований короткого замыкания на батареях типа OF1 и OF2 определены упрощенные эквивалентные схемы батарей с соответствующими параметрами. Для сетей постоянного тока с батарейным питанием разработана вычислительная программа для определения характеристики тока короткого замыкания при коротком замыкании в сети постоянного тока. При расчете, в порядке приближения, может учитываться и дополнительное питание от выпрямителей и реверсивного двигатель-генераторного агрегата.

Беккерт, У.; Нойбер, В.

Новый способ цифрового измерения скорости вращения

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 10, стр. 381–384, 4 рис., 18 уравн., 4 лит.

Описывается двуступенчатый способ цифрового измерения скорости вращения для приводной техники, требующий всего лишь наличия простого датчика импульсов, обеспечивающий сокращение времени измерения по сравнению с частотным измерением и работающий без арифметико-логического блока.

Oswald, B.

Zur Berechnung der charakteristischen Kurzschlußstromgrößen aus dem Anfangskurzschlußwechselstrom

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, S. 365–368, 2 Bilder, 2 Tafeln, 31 Gln., 8 Lit.

Die Berechnung der charakteristischen Kurzschlußstromgrößen erfolgt bei den standardisierten Verfahren mit Hilfe der m, n, $\varkappa$ und μ-Kurven. Obwohl es sich bei den $\varkappa$- und m-Kurven und den μ- und n-Kurven jeweils um den Einfluß des Gleich- bzw. des Wechselanteils des Kurzschlußstromes handelt, sind die zugrunde gelegten Parameter und die Darstellungen verschieden. Im Aufsatz wird eine einheitliche Darstellung für $\varkappa$ und m sowie für μ und n vorgeschlagen, die auch zur formelmäßigen Auswertung in einem PC-Programm zur Kurzschlußberechnung verwendet werden kann.

Winkler, G.; Klose, D.

Die Berechnung der Impedanzen von Starkstromkabeln mit Personal-Computern

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, S. 368–370, 2 Bilder, 4 Lit.

Zur Bestimmung der Ströme bei unsymmetrischen Fehlern in Elektroenergienetzen ist die Kenntnis der Mit-, Gegen- und Nullimpedanzen der Netzelemente erforderlich. Es wird ein Rechenprogramm für Personal-Computer zur Berechnung dieser Größen vorgestellt, geeignet für alle Kabeltypen der Nieder- und Mittelspannungen. Ausreichend sind die in den Kabelkennblättern enthaltenen Daten. Bezüglich ihrer leitenden Aufbauelemente zeichnen sich 8 Grundanordnungen ab, die maximal auf ein 19-Leiter-Problem führen, und aus den Grundanordnungen 12 Grundvarianten, die sich in der Anzahl der Leiter und ihrer Lage zueinander unterscheiden. Das Rechenprogramm ROXO ist für Computer der 8- und 16-bit-Technik geeignet.

Golletz, F.; Böhme, H.

Zuverlässigkeit und Fehlerwahrscheinlichkeit von 110-kV-Stützern bei Kurzschlußstrombelastung

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, S. 370–375, 9 Bilder, 4 Gln., 18 Lit.

110-kV-Stützer sind im Kurzschluß hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Es wird gezeigt, wie ausgehend von der Belastung über die mechanisch-dynamischen Eigenschaften der Systeme „Seil" und „Stützpunkt" die Beanspruchung eines 110-kV-Stützers mit der Festigkeit verglichen und damit die Zuverlässigkeit quantifiziert werden kann.

Bauer, H.; Obenhaus, D.

Erweiterung des Funktionsinhaltes der Verarbeitungsebene für die Schaltanlagenleittechnik auf Mikrorechnerbasis

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, S. 375–376, 1 Bild, 2 Tafeln, 3 Lit.

Ausgehend vom Funktionsumfang der Schaltanlagenleittechnik werden im Beitrag die Fehlerentfernungsberechnung und Stördatenspeicherung einer Schaltanlagentechnik auf Mikrorechnerbasis beschrieben sowie die notwendige Realisierung der Datenspeicherung.

Boytschev, B.

Abschätzung der wirksamen Sternpunkterdung im Teilstarr geerdeten Hochspannungsnetz bei der Sternpunktumstellung

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, S. 377–378, 4 Bilder, 4 Gln., 5 Lit.

Es wird eine Methode zur Abschätzung der wirksamen Sternpunkterdung im teilstarr geerdeten Hochspannungsnetz bei der Sternpunktumstellung gezeigt und ein Verfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Sternpunkt-Isolationsniveaus sowie der Betriebsbedingungen und der Selektivität des Erdkurzschlußstromschutzes vorgeschlagen. Das vorgeschlagene Verfahren wird beispielsweise zur Untersuchung des 110-kV-Netzes der VR Bulgarien verwendet. Es wird die Analyse der mit einem Digitalrechner Robotron ESER 1040 bestimmten Ergebnisse und der Einfluß der Sternpunktumstellung auf das Kurzschlußstromniveau, die Wirksamkeit der Erdung und den Betrieb des Erdkurzschlußstromschutzes behandelt.

Weßnigk, K.-D.; Grießbach, A.

Programm zur digitalen Berechnung des zeitlichen Kurzschlußstromverlaufs in batteriegespeisten Gleichstromnetzen

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, S. 379–381, 5 Bilder, 17 Gln., 8 Lit.

Aus Kurzschlußstromversuchen an Batterien des Typs OF 1 und OF 2 wurden vereinfachte Batterieersatzschaltbilder mit entsprechenden Parametern bestimmt. Für batteriegespeiste Gleichstromnetze wurde ein Rechenprogramm zur Bestimmung des Kurzschlußstromverlaufs bei Kurzschluß im Gleichstromnetz entwickelt. Zusätzliche Speisung durch Gleichrichter und reversiblem Motorgenerator kann näherungsweise bei der Berechnung berücksichtigt werden.

Beckert, U.; Neuber, W.

Neues Verfahren zur digitalen Drehzahlmessung

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 10, S. 381–384, 4 Bilder, 18 Gln., 4 Lit.

Es wird ein zweischrittiges digitales Drehzahlmeßverfahren für die Antriebstechnik beschrieben, das nur einen einfachen Impulsgeber mit einer Marke erfordert, eine im Vergleich zur Frequenzzählmessung kürzere Meßzeit und kommt ohne Arithmetik-Logik-Einheit aus.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 2870343)
Gestaltung	*Ursula Maria Lange*
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf Borsdorf, 7122
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020 PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 8 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 120000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No., 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteli, Bucuresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160; und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

Zur Zeit noch im Fachbuchhandel erhältlich

Von Dr. sc. techn. Wolfgang Hauschild und Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Mosch. 268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln. Leinen, DDR 28,— M, Ausland 40,— DM.

Bestellangaben: 553 2086/Hauschild, Statistik

Die Anwendung der mathematischen Statistik gewinnt in der Elektrotechnik ständig an Bedeutung. Jedoch erfordert die Lösung zahlreicher fachspezifischer Probleme eine unmittelbare Verknüpfung von angewandtem Fachwissen und Methoden der mathematischen Statistik. Dieses Buch will dem Elektrotechniker hierbei eine Hilfe sein und ihn gleichzeitig zur Grundlagenliteratur der mathematischen Statistik hinführen. Auf Grund der Tatsache, daß Methoden der mathematischen Statistik auf dem Gebiet der Hochspannungs- und elektrischen Isoliertechnik bereits in großem Umfang angewendet werden, ist der Stoff an Beispielen aus diesem Gebiet zusammengestellt. Zielstellung der Autoren bei der Erarbeitung dieses Buches war es, Studenten und in der Praxis tätigen Elektroingenieuren ein Hilfsmittel auf dem Gebiet der mathematischen Statistik fachbezogen und anwendungsbereit zur Verfügung zu stellen, um mit möglichst geringer Einarbeitungszeit umfassende, aussagekräftige Ergebnisse — insbesondere aus den notwendigen und oft sehr kostspieligen Experimenten — zu gewinnen. Es soll darüber hinaus Anregungen für die Anwendung statistischer Methoden geben und damit Möglichkeiten der Rationalisierung und Effektivitätssteigerung der Ingenieurarbeit eröffnen. Das Buch wird also immer dann besonders nützlich sein, wenn es gilt, experimentelles Material möglichst umfassend auszuwerten. Bei der Abfassung des Manuskriptes wurde großer Wert auf die bildliche Darstellung erläuterter Zusammenhänge gelegt. Jedes Verfahren wird durch mindestens ein Beispiel belegt.

Aus dem Inhalt des Buches:

Grundlagen im Überblick Wahrscheinlichkeitstheoretische Grundbegriffe. Verteilungsfunktionen. Ausgewählte theoretische Verteilungsfunktionen. Grundzüge von Korrelation und Regression. Ausgewählte Testverfahren

Planung, Durchführung und Auswertung von Messungen Auswahl von Meßverfahren, Versuchsparametern und Prüfanlagen. Konstantspannungsversuche zur Ermittlung der Verhaltensfunktion. Spannungssteigerungsversuche zur Ermittlung der Summenhäufigkeitsfunktion. Verfahren zur Ermittlung ausgewählter Quantile

Statistische Bewertung standardisierter Prüfverfahren Zielstellungen und Problematik der Isolationskoordination. Nachweis von Nennstehwechsel- und Nennstehgleichspannungen. Nachweis von Nennstehimpulsspannungen. Hinweise zur Bemessung von Isolierungen

Statistische Beschreibung des Isoliervermögens Wahl der Zufallsgröße. Luftisolierungen. Druckgasisolierungen. Flüssigkeitsisolierungen. Feststoffisolierungen. Zur Statistik von Teilentladungen

Vergrößerungsgesetze Problematik. Statistische Grundlagen. Anwendung auf theoretische Verteilungsfunktionen. Diskrete parallele Entladungsstellen. Flächeneffekt. Volumeneffekt. Zeiteffekt.

Einige Urteile der Fachpresse:

„Für alle auf dem Gebiet der Elektrotechnik Tätigen eine hervorragende Möglichkeit, mathematische Statistik in praktischer Anwendung zu verstehen, zu erlernen und für die Lösung eigener Aufgaben zu nutzen". Energietechnik Leipzig

„Den Verfassern ist eine klare, umfassende und didaktisch hervorragende Darstellung der Problematik gelungen". ETZ Elektrotechnische Zeitschrift, Offenbach

„Eine hervorragende Grundlage sowohl für die Forschung, Lehre und Weiterbildung als auch unentbehrlich für die Praxis".
Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Zürich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 43 (1989) 10 · S. 361—400

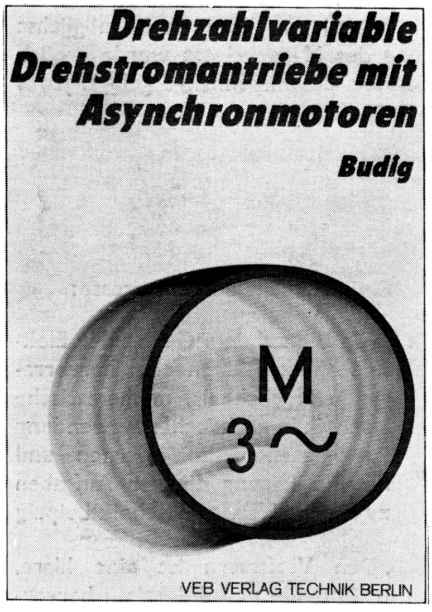
6730 10 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 PF 1

Erstauflage · Kürzlich erschienen

Drehzahlvariable Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren

Von Prof. Dr. sc. techn.
Peter-Klaus Budig

296 Seiten, 197 Bilder, 38 Tafeln,
Leinen, DDR 40,— M,
Ausland 46,— DM.
Bestellangaben: 5538883/Budig,
Drehstromantriebe



Auslieferung
durch den Fachbuchhandel

Drehzahlvariable Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren gewinnen gegenwärtig und künftig an Bedeutung, da sie aufgrund ihrer elektrischen und mechanischen Kenngrößen und ihrer Robustheit gegenüber den Umgebungsbedingungen und ihres damit zusammenhängenden relativ geringen Wartungsaufwandes ein breites Einsatzfeld haben. Mit der stetig weitergehenden Entwicklung leistungselektronischer Bauelemente, wie z.B. leistungsstarker Stromrichterventile, ist die Drehzahlstellung von Asynchronmotoren bis in hohe Leistungsbereiche hinein möglich.

Die Probleme, die beim Zusammenwirken von Stromrichter und Motor entstehen, werden anhand der möglichen Stellmethoden und Schaltungsvarianten, von den theoretischen Grundlagen ausgehend, erläutert. Dabei werden auch Hinweise zur Gestaltung von bestimmten konstruktiven Details und deren Auswirkungen auf das angestrebte Betriebsverhalten gegeben.

Das Buch richtet sich an Studenten, Projektanten und Betreiber elektrischer Antriebe und an die, die einzelne Zulieferungen leisten. Es soll dazu beitragen, sich in die komplizierte Thematik einarbeiten zu können und das Verständnis für die physikalischen Vorgänge zu vertiefen.

Die Hauptabschnitte des Buches:

Zur Geschichte der elektrischen Antriebstechnik und Ausblick · Geregelte Antriebe und Energieökonomie · Vergleich der Gleichstrom- und Drehstromantriebstechnik · Frequenzspannungsgestellte Asynchronmaschine · Verfahren zur Erzeugung der Pulsmuster · Der stromrichtergespeiste ASM · Moment des stromrichtergespeisten ASM · Betrieb des ASM am Wechselrichter · Geregelter Antrieb mit ASM · Die stromrichtergespeiste Synchronmaschine · Literaturverzeichnis.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN